



**Maria Margarida                      Erosão e exportação de matéria orgânica do solo em**  
**Pereira Faria de Caria   áreas ardidas**



**Universidade  
Aveiro**

**Ano 2011**

**de Departamento de Ambiente e Ordenamento**

**Maria Margarida                      Erosão e exportação de matéria orgânica do solo**  
**Pereira Faria de Caria            em áreas áridas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Jan Jacob Keizer, PhD. Investigador Auxiliar e da Doutora Maria Eufémia Varela Tejeiro, Bolseira de Pós-Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Tese desenvolvida no âmbito do projeto FIRECNUTS (PTDC/AGR-CFL/104559/2008). Com apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) e com co-financiamento pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do COMPETE – Programa Operacional Factores de Competitividade (POFC)

Aos meus pais, irmãos e namorado Pedro

## **o júri**

Presidente

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho**

Professora Catedrática, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Doutor Jan Jacob Keizer**

Investigador Auxiliar do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Orientador)

**Doutora Maria Eufémia Varela Tejeiro**

Estagiária de Pós Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Co-orientador)

**Prof. Doutor António José Dinis Ferreira**

Professor Auxiliar, Escola Superior Agrária de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra

## **agradecimentos**

Sem dúvida que todas as palavras são poucas para agradecer a todos aqueles que me acompanharam ao longo desta etapa e, de uma forma mais ou menos direta contribuíram para que pudesse chegar ao fim.

Agradeço à minha família, em especial à minha irmã pela ajuda e tempo que despendeu.

Agradeço ao meu namorado Pedro pelo apoio incondicional, ajuda em todos os sentidos e sobretudo a paciência e horas de sono perdidas ao meu lado.

Agradeço à Sónia, grande amiga e companheira. Obrigada pela paciência e apoio. Às minhas amigas, Juliana, Tânia, Helena, Rita, Ângela e Teresa pelas palavras de apoio e consolo, e a todos aqueles que de alguma forma estiveram presentes.

Agradeço a toda a equipa, Diana, Sérgio, Raquel, Mariluz, João Pedro, Maruxa, Renata, Paula, Isabel e todos os outros que de uma ou outra forma deram o seu contributo.

Agradeço ao Martinho e à Isabel, amigos e companheiros de trabalho.

Aos meus orientadores, Jacob Keizer e Marifé, pela oportunidade, orientação e ajuda prestada.

E um agradecimento especial à Sílvia, por toda a ajuda, amizade, compreensão e apoio, principalmente nestes últimos dias de trabalho. Todo este trabalho não teria sido possível sem a sua ajuda.

E por fim, obrigada a todos por me acompanharem nesta fase da minha vida.

**palavras-chave** Matéria orgânica, erosão, solo, escorrência, incêndio florestal

**Resumo** Os solos ardidos são mais suscetíveis à erosão, consequência do desaparecimento do coberto do solo provocado pelo incêndio e ainda devido às alterações das características físicas e químicas do próprio solo, nomeadamente a nível da repelência, porosidade e estrutura. Portugal, devido a características como a aridez dos solos e precipitação irregular e intensa, encontra-se inserido no contexto da problemática da degradação dos solos, dado o elevado risco de incêndio associado aos países do Mediterrâneo. Neste trabalho, enquadrado no projeto FIRECNUTS (PTDC/AGR-CFL/104559/2008), analisou-se a exportação hídrica da matéria orgânica do solo como consequência do incêndio ocorrido em 26 de Julho de 2010, na localidade de Ermida, pertencente ao concelho de Sever do Vouga, distrito de Aveiro, na região centro-norte de Portugal. A área ardida tinha aproximadamente 295 ha. Dentro desta área foram selecionadas três encostas, dois eucaliptais com geologia diferente (granito e xisto) e um pinhal (xisto) para o estudo do efeito sobre diferentes geologias e povoamentos florestais. Fora da área ardida foi ainda selecionado um eucaliptal não queimado (xisto), como base na comparação, para a avaliação do efeito do incêndio.

Em cada uma das encostas foram instalados tanques de recolha de escorrência, quatro à escala de encosta e três micro-parcelas, à exceção da área não ardida que apenas apresentava as parcelas à escala de encosta. Além desta instalação foram ainda caracterizados os solos ao nível da matéria orgânica, textura e densidade aparente. A monitorização semanal iniciou-se aproximadamente 1 mês após o incêndio e teve a duração de 6 meses. Os resultados indicam, à microescala, maior risco de erosão em solos sobre xisto ( $259 \text{ g.m}^{-2}$ ) que em solos sobre granito ( $63 \text{ g.m}^{-2}$ ), e menor risco de erosão no pinhal ( $27 \text{ g.m}^{-2}$ ). Os resultados à escala de encosta sugerem um comportamento contrário na comparação de eucaliptais ( $485$  vs  $36 \text{ g.m}^{-2}$ ), e similares na comparação de eucaliptal com pinhal ( $36$  vs  $6 \text{ g.m}^{-2}$ ). A encosta não queimada permite verificar que o incêndio aumenta a erosão, da mesma forma que o aumento da escala parece diminuir o risco de erosão, resultado de maiores interferências, maior tempo de contacto e perda de escorrência. Pode ainda verificar-se que os teores de matéria orgânica permanecem constantes ao longo do tempo, em todas as encostas e às duas escalas (cerca de 60%).

**keywords**

Organic matter, erosion, soil, runoff, forest fire

**Abstract**

Burnt soils are more susceptible to erosion, as a consequence of the disappearance of the topsoil caused by wildfires and also due to changes in physical and chemical characteristics of the soil itself, namely, in repellence, porosity and structure. Portugal, due to features as the aridity of soil and irregular and intense rainfall, is included in the context of soil degradation, given the high risk of fire associated to Mediterranean countries. In this study, framed in the project FIRECNUTS (PTDC/AGR-CFL/104559/2008), hydric exportation of soil's organic matter was analysed, as a consequence of the fire that occurred in the 26<sup>th</sup> of July in 2010, in Ermida, district of Aveiro, in the Central-North region in Portugal. The burnt area had about 295 ha. Inside this area 3 slopes were selected, 2 eucalypt plantations with different geology (granite and schist) and a pine plantation (schist) for the study of the effects over different types of geology and woodlands. Outside the burnt area, was also selected an unburned eucalypt plantation (schist), as a basis of comparison, to evaluate the effect of the fire. In each of the slopes were installed tanks to collect run-off, four at slope-scale and three at micro-plot scale, with the exception of the unburned area that only had slope-scale plots. Besides this installation, soils were characterized at the level of organic matter, texture and bulk density. The weekly monitoring began approximately one month after the fire and lasted 6 months. The results indicate, at micro-scale, increased risk of erosion on soils upon schist ( $259\text{g.m}^{-2}$ ) than in soils upon granite ( $63\text{ gm}^{-2}$ ), and less risk of erosion in the pine forest ( $27\text{ gm}^{-2}$ ). The results, at slope-scale, suggest an opposite behaviour in the comparison between eucalypt plantations (granite and schist) ( $485$  vs  $36\text{ g.m}^{-2}$ ), and similar behaviour when comparing eucalypt plantations (schist) with pine forest (schist) ( $36$  vs  $6\text{ g.m}^{-2}$ ). The unburned slope shows that fire increases erosion, just as higher scales seem to reduce the risk of erosion, as a result of bigger interference, more contact time and run-off loss. It can be also verified that the organic matter levels remain constant over the time, in all slopes and at both scales (about 60%).





# Índice

CAPÍTULO 1 – Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Os incêndios florestais em Portugal .....	2
1.3 Os impactos dos incêndios florestais nas propriedades e perdas do solo e da sua matéria orgânica .....	7
1.4 Objetivos .....	11
CAPÍTULO 2 - Exportação hídrica de matéria orgânica do solo numa área ardida.....	13
RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	14
2.1 Introdução .....	15
2.2 Materiais e métodos .....	16
2.2.2 Desenho experimental .....	17
2.2.3 Recolha de dados e amostras .....	18
2.2.4 Análise laboratorial .....	19
2.3 Resultados .....	20
2.3.1 Caracterização global.....	20
2.3.1.1 Características gerais .....	20
2.3.1.2 Os solos.....	21
2.3.1.3 Escorrência, perdas de solo e matéria orgânica.....	22
2.3.2 Microescala .....	24
2.3.2.1 Variabilidade espacial.....	25
2.3.2.2 Variabilidade espaço-temporal .....	27
2.3.3 Escala de encosta .....	39
2.3.3.1 Variabilidade espacial.....	39
2.3.3.2 Variabilidade temporal .....	42
2.4 Discussão.....	54
2.5 Conclusões .....	59
CAPÍTULO 3 – Considerações finais e futuras.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Uso e ocupação do solo em Portugal Continental em 2010 (adaptado de DNGF, 2010). ....	3
Figura 2 – Classificação de incêndios (adaptado de Varela, 2007). ....	5
Figura 3 – Área ardida e número de ocorrências em Portugal no último decénio (adaptado de AFN, 2010)...	6
Figura 4 – Localização geográfica da área de estudo e dos equipamentos. ....	17
Figura 5 - Exemplo de uma microparcela e tanques de recolha de escorrência ....	18
Figura 6 - Variação da precipitação semanal total e do respectivo $I_{30}$ durante o primeiro ano após o fogo. 20	
Figura 7- Relação entre escorrência total (mm) e a perda de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ) para as nove micro-parcelas das três encostas em estudo. ....	27
Figura 8 – Variação temporal dos coeficientes de escorrência das micro-parcelas das três encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização. ....	28
Figura 9 - Variação temporal dos totais semanais de escorrência (mm) nas micro-parcelas das três encostas. ....	31
Figura 10 – correlação linear entre precipitação (mm) e escorrência (mm) para as micro-parcelas das três encostas. ....	32
Figura 11- Correlação linear entre escorrência (mm) e perda de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ) nas microparcelas das três encostas. ....	33
Figura 12 – Evolução das perdas de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ) ao longo do tempo nas micro-parcelas das três encostas ....	36
Figura 13 - Evolução da concentração de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) ao longo do tempo nas micro-parcelas das três encostas ....	38
Figura 14 - Percentagem (média) de matéria orgânica nas três encostas à microescala. ....	39
Figura 15 – Relação entre o coeficiente de escorrência total (%) e a perda de sedimentos e matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ) para as 16 parcelas abertas das quatro encostas em estudo.....	42
Figura 16 – Variação temporal dos coeficientes de escorrência das quatro encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização. ....	43
Figura 17- Variação temporal da escorrência (mm) das quatro encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização ....	45
Figura 18- Correlação entre precipitação (mm) e escorrência para as quatro encostas à escala de encosta... 45	
Figura 19- Correlação linear entre escorrência (mm) e perda de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ) para as quatro encostas à escala de encosta ....	47
Figura 20 - Variação temporal da perda de matéria orgânica das quatro encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização. ....	49

**Figura 21- Variação temporal da concentração de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) nas 4 encostas..... 52**

Figura 22 - Percentagem média de matéria orgânica ao longo do tempo para as 4 encostas no período de monitorização. .... 53

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 – Características gerais das quatro encostas em estudo ..... 21

Tabela 2 – Teor de matéria orgânica nas diferentes profundidades do solo e nas cinzas, nas diferentes encostas em estudo. .... 21

Tabela 3 – Médias de precipitação, escorrência, erosão e perda de matéria orgânica ao longo dos primeiros 6 e 12 meses após o incêndio, nas quatro encostas..... 23

Tabela 4 - Valores de precipitação, escorrência, erosão, perda de matéria orgânica e outras variáveis, no período de monitorização, nas micro-parcelas em estudo. .... 26

Tabela 5 – Valores de precipitação, escorrência, erosão, perda de matéria orgânica e outras variáveis, nos primeiros seis meses após o incêndio, nas quatro parcelas de cada encosta à escola de encosta..... 40



# **CAPÍTULO 1 – Introdução**

## **1.1 Enquadramento**

A degradação dos solos é uma das problemáticas identificadas como uma realidade presente e futura, sendo a região Mediterrânea uma das mais afetadas. Características como a aridez dos solos, precipitação irregular e intensa, que conjuntamente com a deficiente gestão do uso do solo contribuem para a degradação do solo, quer pela deterioração da sua estrutura, quer pela destruição do coberto vegetal. No sul da Europa, a mudança nos sistemas de exploração do solo, associados a uma inadequada reflorestação, do ponto de vista ecológico (Eucaliptais na Península Ibérica), levaram ao aumento do risco de ocorrência de graves incêndios florestais e consequentemente à degradação química e física dos solos (Ferreira, 1997).

Em Portugal, num ano médio, ardem cerca de 100.00 ha de área floresta. Em 2010, cerca 133.090 ha de área florestal foi consumida pelo fogo, o que representa um acréscimo relativamente à média do decénio (DUDF, 2010). O cenário das alterações climáticas indica o aumento da vulnerabilidade para o risco meteorológico de ocorrência de incêndios (Santos et al., 2006). Assim, realça-se a necessidade de estudar os efeitos diretos e indiretos dos incêndios florestais. Consta-se entre eles a escorrência induzida pelo fogo (a mais importante forma de degradação dos solos) e a erosão do solo que colocam em risco a sustentabilidade dos ecossistemas e põem em causa a qualidade das águas, através do assoreamento e eutrofização de barragens.

Muitas lacunas estão por preencher no que respeita aos efeitos erosivos e hidrológicos. Projetos como EROSFIRE-I/II nascem nesse sentido, mas também se verificam grandes lacunas relativas à matéria orgânica, exportação de carbono e nutrientes, no qual se insere o presente estudo.

Este trabalho surge, no âmbito do projeto FIRECNUTS (Efeitos de fogos florestais na quantidade e dinâmica de carbono e nutrientes no solo e na sua exportação por escorrência superficial) PTDC/AGR-CFL/104559/2008, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal (FCT) e pretende estudar a erosão e exportação de matéria orgânica por escorrência superficial, numa área ardida no centro norte de Portugal, caracterizada por coberto de pinheiros e eucaliptais. Este

estudo pretende ainda, estudar estes parâmetros a duas escalas e em diferentes encostas ardidas para posterior comparação.

## **1.2 Os incêndios florestais em Portugal**

Um incêndio, do ponto de vista físico-químico, é uma reação entre material combustível e um oxidante (tipicamente oxigénio), podendo ser de origem natural ou antropogénica.

Os fogos têm um impacto determinante no ciclo de vida das florestas. Fogos de baixa intensidade podem modelar a floresta destruindo pequenas árvores, rejuvenescendo vegetação rasteira tolerante ao fogo e acelerando o ciclo de nutrientes. Por outro lado, os fogos de elevada intensidade destroem a maioria das árvores, oxidam grandes quantidades de nutrientes como o azoto e perturbam as interações entre plantas e solo durante décadas (Fisher et al., 2000).

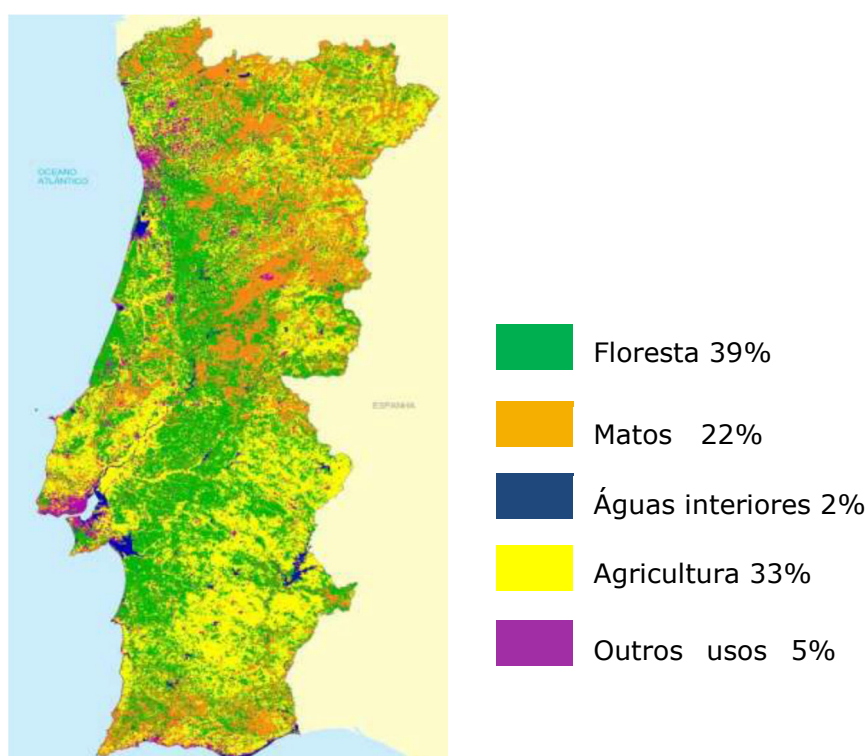
Historicamente, o Homem serviu-se do fogo para a limpeza das suas terras e para controlo da vida selvagem. Os fogos de origem antropogénica tornaram-se mais frequentes e intensos que os de origem natural, provocando maiores consequências nas florestas e nos solos (Fisher et al., 2000).

Os incêndios podem ser agrupados em três tipologias, incêndios prescritos ou controlados, incêndios planeados e incêndios não controlados (Pritchett e Fisher, 1987). Os incêndios prescritos têm uma função preventiva, na medida em que é possível medir e controlar a sua temperatura bem como o tempo de atuação. Permitem eliminar combustível acumulado e estimular o crescimento de determinadas espécies através do enriquecimento de nutrientes no solo pelas cinzas. Os incêndios planeados visam a destruição da floresta para fins agrícolas ou criação de gado. Os incêndios não controlados sendo de origem natural ou humana, impossibilitam a determinação de parâmetros como a temperatura e intensidade do fogo, pelo que a sua avaliação é efetuada pela redução da vegetação e componente orgânica bem como do solo mineral que fica a descoberto (Lindenmayer e Burgman, 2005).

A elevada taxa de ocorrência de incêndios florestais em Portugal é, em grande parte, consequência do clima de que é alvo. De acordo com a classificação climática de Kröppen, o clima em Portugal, é considerado como mesotérmico (temperado) húmido, com Verão seco, moderadamente quente e extenso, caracteristicamente

mediterrâneo com influência oceânica (ARH, 2002). Caracteriza-se pela elevada precipitação durante o inverno que promove o crescimento da biomassa combustível, e pelo Verão normalmente longo, quente e seco. Esta combinação é propícia à ocorrência de incêndios dada a secura da vegetação combustível (Catry et al. 2007).

Segundo o 5º Inventário Florestal Nacional, cerca de 39% do território nacional é coberto por floresta, representando uma área aproximada de 3 458 557 ha (Figura 1) (DNGF, 2010).



**Figura 1 – Uso e ocupação do solo em Portugal Continental em 2010 (adaptado de DNGF, 2010).**

O parque florestal registou um aumento de aproximadamente 3% entre 1995-2005, não se verificando alterações relevantes na sua constituição, no entanto, registou-se a diminuição, em área, de espécies como o pinheiro-bravo e a azinheira e o aumento de outras como o eucalipto e o pinheiro-manso (DNGF, 2010).

A floresta portuguesa, atualmente, representa-se essencialmente por pinheiros, eucaliptos e sobreiros, sendo que as espécies mais abundantes são Pinheiro bravo

(*Pinus pinaster*), o Eucalipto glóbulo (*Eucalyptus globulus*) e o Sobreiro (*Quercus suber*) (Ferreira et al., 2005). De acordo com a Autoridade Florestal Nacional, o pinheiro bravo, o eucalipto e os carvalhos as espécies mais afetadas pelos incêndios. A inflamabilidade destas e outras espécies mediterrânicas foi estudada por Valette (1990), através de um índice de inflamabilidade, numa escala de 0 a 5 (pouco inflamável e extremamente inflamável) determinando que, de acordo com os tecidos de cada espécie, os eucaliptos foram classificados como extremamente inflamáveis (nota 5), seguindo-se as espécies de carvalhos como bastante a extremamente inflamáveis (nota 4-5) e os pinheiros como moderadamente inflamáveis a inflamáveis (nota 2-3).

O fogo tem sido estudado por diversos autores (p.e. Keeley e Keeley, 1981), nomeadamente na sua propagação e fatores que a condicionam. Quanto ao tipo de propagação, os fogos florestais classificam-se como (Figura 2):

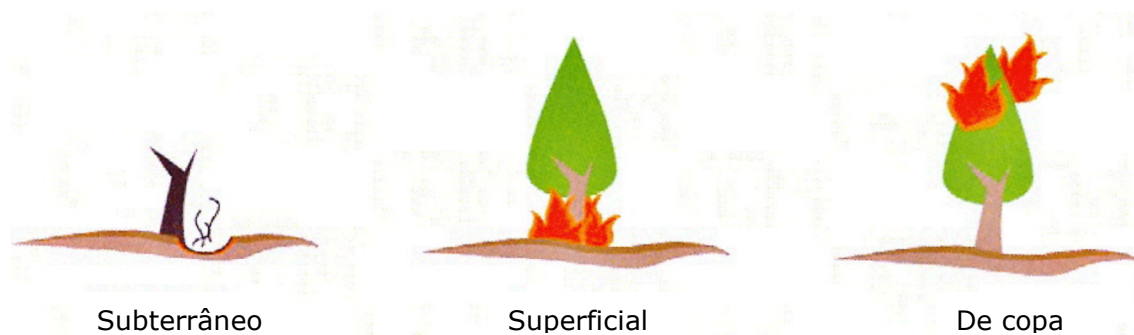
*Incêndio subterrâneo ou do subsolo* – origina-se quando as raízes e a matéria orgânica do solo entram em combustão, o que pode acontecer quando esta é muito abundante. Este tipo de fogo propaga-se pelo interior da camada orgânica, destruindo o húmus, a folhagem na superfície do solo, a biomassa microbiana e as raízes das árvores. Como o oxigénio é limitado desenvolvem-se fogos lentos, sem chama e sem fumo. São muito destrutivos e difíceis de controlar (Varela, 2007).

*Incêndio superficial ou do solo* - é o mais frequente e transmite-se fundamentalmente na superfície do solo; afeta unicamente a vegetação herbácea e arbustiva, assim como, a manta superficial de restos orgânicos sem a decompor, uma vez que apenas penetra no solo (Varela, 2007).

*Incêndio de copa ou aéreo* – origina-se inicialmente a partir do fogo de superfície e alcança o nível da copa das árvores, conduzidos pelo vento ou por se tratar de incêndios de alta intensidade. São os que se propagam mais rapidamente e os mais difíceis de extinguir (Varela, 2007).

*Incêndio total* – é a ocorrência em simultâneo das três classificações descritas anteriormente.

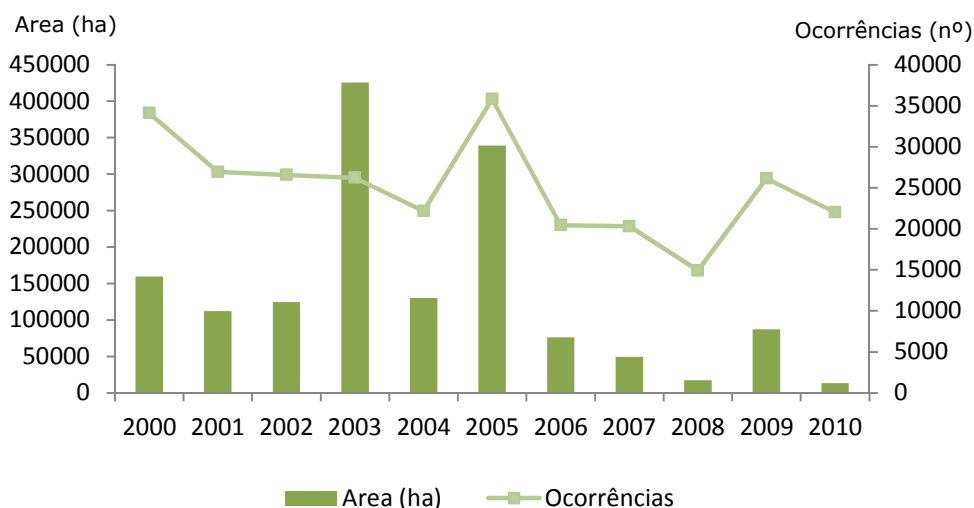




**Figura 2 – Classificação de incêndios (adaptado de Varela, 2007).**

Nos três últimos decénios, verifica-se uma tendência para o aumento de área ardida em Portugal ao contrário do que se constata nos outros países do sul da Europa com clima semelhante. Relativamente ao número de ocorrências, verifica-se que na Península Ibérica a sua frequência é superior aos restantes países apresentados (JCR, 2011). Apesar da população portuguesa ser apenas um quarto e a floresta um quinto da área florestal de Espanha, as estatísticas revelam que, Portugal registou na última década, mais 34% de ocorrências e mais 28% de área florestal ardida que Espanha (AFN, 2008).

Nas duas últimas décadas, os registos indicam totais anuais de ocorrências superiores a 20.000, tendo sido ultrapassadas as 30.000 ocorrências anuais por 4 vezes. No que respeita à área ardida, os anos de 2003 e 2005, apresentam os máximos registados, cerca de 430.000 ha e 340.000 ha de área consumida pelo fogo, respetivamente. (Figura 3) Nem todo o país apresenta a mesma ocorrência de incêndios. As zonas montanhosas do Norte e Centro do País apresentam uma média superior a 1000 ha de área ardida por ano (Silva et al., 2008).



**Figura 3 – Área ardida e número de ocorrências em Portugal no último decénio (adaptado de AFN, 2010).**

De acordo com a Autoridade Florestal Nacional, apenas 1% dos incêndios florestais ocorridos em Portugal no ano de 2010, tiveram origem natural. Portugal Continental registou 22.026 ocorrências, das quais 18% corresponde a incêndios florestais (áreas ardidas de 1 ou mais hectares). No total esta área ardida soma 133.090 ha que se traduzem num aumento de 45.670 ha face ao ano anterior.

A maioria dos incêndios florestais concentra-se nos meses de Julho a Setembro, onde ocorre o maior consumo de área pelo fogo (92%). No entanto tem-se verificado o aumento do número de ocorrências no mês de Março (AFN, 2010).

### **1.3 Os impactos dos incêndios florestais nas propriedades e perdas do solo e da sua matéria orgânica**

Os incêndios acarretam consequências para os processos geomorfológicos e hidrológicos que podem colocar em risco a sustentabilidade dos ecossistemas bem como das áreas que não foram diretamente atingidas. Estas consequências podem ser diretas e indiretas (Shakesby e Doerr, 2006). Os impactos diretos, à parte da visível redução da vegetação e manta morta e também das alterações no número de populações e atividades da fauna local resultantes dos incêndios, podem provocar impactos significativos na superfície do solo constituindo, por um lado, alterações geomorfológicas diretas (p.e. desintegração das rochas) ou provocar alterações em processos hidrológicos e geomorfológicos como a agregação do solo, a porosidade, matéria orgânica e características de repelência. Os impactos indiretos resultam da desproteção do solo devido ao desaparecimento do coberto vegetal, que torna o suscetível à erosão e a uma alteração considerável do regime hidrológico (Shakesby e Doerr, 2006). De acordo com a revisão bibliográfica Shakesby (2011) é possível perceber de forma mais detalhada estes impactos. O autor afirma, que a combustão parcial ou completa da vegetação que cobre o solo e da manta morta, se reflete em importantes implicações para a resposta hidrológica no pós-fogo. Estas alterações conduzem à redução de: superfícies das quais possa ocorrer evaporação e transpiração, na capacidade de armazenamento para retenção e na detenção e de água e obstáculos à escorrência superficial. Adianta ainda que, dependendo da severidade do incêndio grandes mudanças podem ocorrer no solo e na matéria orgânica. Especificamente, o fogo causa a combustão total ou parcial da matéria orgânica, deteriora a estrutura do solo modificando a sua porosidade e incrementado a densidade aparente, afirma o autor, citando entre outros, Fernández et al. (2004). O fogo implica consequências também a nível da volatilização de nutrientes ou perda por lixiviação (Certini, 2005) e pode ainda aumentar as características de repelência do solo à água (p. e. Shakesby, 2011).

Quatro componentes essenciais fazem parte da constituição do solo: as frações orgânica e mineral e as fases líquida e gasosa. A estes constituintes estão ainda associados organismos vivos. As relações mantidas por estes componentes, resultam numa gama de propriedades físicas, químicas e biológicas que definem a constituição do solo e podem ser alteradas com a passagem do fogo (Varela, 2007). Estas modificações podem alterar algumas características importantes do solo, tais como:

*Humidade* – a passagem do fogo promove a dessecação imediata do solo, bem como a sua desproteção devido à destruição da cobertura vegetal, que aliados à temperatura provocam o escurecimento do solo e reduzem a sua humidade (Pietikäinen e Fritze, 1993).

*pH e condutividade* – o tipo de vegetação e a intensidade do fogo são determinantes no aumento de pH do solo. A incêndios de elevadas intensidades (>450-500°C) estão associados a incrementos de pH mais pronunciados, devido à combustão da matéria orgânica. Por outro lado, a ação do fogo aumenta o pH dos solos devido a contribuição de cátions como o Ca, Mg, K e P, e outros elementos, óxidos e carbonatos através das cinzas da vegetação ardida. A combustão da matéria orgânica promove a libertação de iões inorgânicos solúveis, aumento assim a condutividade elétrica dos solos (Vázquez, 2011).

*Modificações na repelência* – A combustão e a transferência de calor durante o incêndio provocam gradientes de temperatura nas camadas superficiais dos solos minerais. Assim, as temperaturas vão diminuindo desde o estrato superior até à interface com o solo. O calor produzido pela combustão da manta morta na superfície do solo volatiliza as substâncias orgânicas, as quais posteriormente se deslocam em profundidade para camadas de solo mais frias onde condensam. O movimento descendente das partículas hidrofóbicas ocorre principalmente durante o fogo. O calor remanescente, após o fogo pode provocar a revolatilização de algumas das substâncias hidrofóbicas resultando no espessamento da camada repelente ou fixar as substâncias hidrofóbicas no local. O resultado final é uma camada subterrânea repelente à água e paralela à superfície da área ardida (DeBano, 2000).

*Textura* – quando são atingidas temperaturas superiores a 460°C dá-se a perda de grupos OH das argilas e a dissociação de carbonos. Também pode ocorrer a agregação de partículas do tamanho das argilas, incrementando desta forma a percentagem de limos e areias (Almendros et al).

*Estrutura do solo* – A estabilidade da estrutura do solo também pode ser afetada, através das alterações nos minerais da argila e da combustão da matéria orgânica. As argilas toleram temperaturas relativamente elevadas, daí que não sejam muito afetadas. Para que ocorram perdas dos grupos OH nas argilas, a temperatura deve ser superior a 460°C (Giovannini et al, 1988). Danos irreversíveis ocorrem a temperaturas superiores a 980°C (Debano et al, 1998). O efeito sobre a

componente orgânica ocorre a temperaturas mais baixas que nas argilas, entre 200 e 500°C. Como a matéria orgânica se encontra na parte superior do perfil, está mais exposta ao calor gerado pela combustão dos materiais que se encontram à superfície (Varela, 2007).

*Matéria orgânica* – A matéria orgânica é um elemento essencial na formação do horizonte A. A estrutura deste horizonte é determinante no ciclo hidrológico dos solos, que bem estruturados, possuem macro poros suficientes que permitem não só o deslocamento da água em profundidade e o seu armazenamento, como também o crescimento das raízes (Porta et al., 1999). Encontra-se geralmente em abundância no solo, estando na base da sua estrutura e apresenta uma porosidade elevada. Nesse sentido, o fogo afeta-a de uma forma significativa. Dependendo das características de funcionamento dos ecossistemas após o incêndio e a intensidade do fogo, a sua degradação estrutural pode durar entre um ano a décadas. (Neary et al., 1999). A temperaturas entre 200° e os 400°C, inicia-se a volatilização de nutrientes, principalmente do azoto, mas as perdas de matéria orgânica podem ocorrer a temperaturas mais baixas (DeBano et al., 1998). A destilação dos compostos presentes na manta morta ocorre a temperaturas no intervalo de 180°-200°C. A Volatilização de nutrientes, em particular do azoto, ocorre quando as temperaturas sobem a temperaturas entre 200°-400°C. No intervalo de 180°-300°C, 85% ocorre a destruição da camada de manta morta e quando as temperaturas excedem os 300°C toda a estrutura do horizonte orgânico é destruído e praticamente toda a matéria orgânica é destruída quando são atingidos os 450°C (Neary, 1999).

A intensidade do fogo na superfície do solo, a severidade e a duração do incêndio, conjugados com a quantidade de combustível vegetal disponível e as condições de humidade do solo pré-fogo, são condicionantes na temperatura dos horizontes orgânicos e mineral (Hartford e Frandsen, 1992). Fogos de grande intensidade podem elevar a temperatura da camada superficial dos solos até 275°C, quando na presença de horizontes orgânicos espessos.

Dependendo da intensidade do fogo, e tratando-se de fogos controlados, a temperatura do solo pode manter-se elevada apenas durante alguns minutos, ou no caso de se tratarem de fogos mais intensos o solo pode manter-se a temperaturas altas por mais de cinco dias. No caso da completa combustão da matéria orgânica os solos estes efeitos na temperatura do solo podem permanecer

durante anos, devido ao aquecimento provocado pela radiação solar (Moreira et al., 2010).

*Erosão hídrica* – A ocorrência de incêndios florestais, provoca alterações que podem ser significativas nos diversos componentes do ciclo hidrológico (Moreira et al., 2010). Após um incêndio florestal, o solo fica sujeito a condições adversas, podendo ocorrer a diminuição da sua porosidade, devido ao impacto direto das gotas da chuva resultando em maiores fluxos de escorrência. O facto de o solo ficar sem a proteção da vegetação, reduz a ainda a sua capacidade de retenção e armazenamento de água (Martin e Moody, 2001; Meyer, 2002).

Depois de um fogo, a camada hidrófoba diminui de forma drástica a capacidade de infiltração, condicionando desta forma os processos hidrológicos e erosivos provocando escorrência e consequentemente erosão, mobilizando cinzas hidrofílicas e exportando fontes importantes de nutrientes. Pontualmente, resultantes da queima das raízes, surgem os macroporos no solo que podem eventualmente contribuir para infiltração de água (Moreira et al., 2010).

O teor de água no solo pode também influenciar a erosão, no entanto as conclusões de alguns estudos, nesse sentido, são diversas. Ao contrário do que seria de esperar, a quantidade de água no solo pode aumentar após o incêndio, assim este aumento de humidade pode permitir a mais fácil saturação do solo na altura das chuvas, contribuindo dessa forma para o aumento da escorrência superficial e consequente erosão laminar.

O fogo, ao deixar o solo exposto à radiação, faz com exista maior dessecação da superfície derivado à maior evaporação a que fica sujeito. Atendendo ainda à dificuldade de infiltração da água da chuva devido à camada repelente que se forma no solo, percebe-se que o resultado em termos de humidade no solo disponível no solo para as plantas pode ser diverso.

Estruturas feitas pelo Homem ou até mesmo as formas geomorfológicas, previas ao incêndio, podem quebrar a transferência de água e sedimentos. Caminhos, terraços e outras formas podem provocar essa interrupção e serão as menos prioritárias no que respeita à monitorização para conservação do solo e da água após a ocorrência de um incêndio (Moreira et al., 2010).

## **1.4 Objetivos**

O objetivo principal desta dissertação é contribuir para o conhecimento dos efeitos dos incêndios florestais na exportação hídrica da matéria orgânica do solo, dada a problemática de degradação dos solos inerente a este facto. Salienta-se a importância deste estudo, atendendo ao baixo número de estudos neste sentido em Portugal.

Para uma área florestal ardida no mês de julho de 2010, no concelho de Sever do Vouga, à microescala e à escala de encosta, os objetivos específicos são:

1. Conhecer os stocks de matéria orgânica no solo e estudar a sua exportação.
2. Avaliar as variações temporais e espaço-temporais da escorrência gerada à superfície.
3. Quantificar a erosão total criada por escorrência superficial e conhecer as variações temporais e espaciais nas encostas em estudo
4. Quantificar e avaliar as perdas de matéria orgânica por exportação, no tempo e espaço.

Pretende-se avaliar estes parâmetros comparando encostas com cobertos diferentes (Pinheiro vs Eucalipto) e diferentes tipos de rocha mãe (xisto vs granito). Com o mesmo tipo de rocha e coberto, pretende-se ainda avaliar o efeito do incêndio comparando uma encosta ardida com uma não ardida.





## **CAPÍTULO 2 – Erosão e exportação de matéria orgânica do solo em áreas ardidas**

### **RESUMO**

Os solos ardidos são mais suscetíveis à erosão, consequência do desaparecimento do coberto do solo provocado pelo incêndio e ainda devido às alterações das características físicas e químicas do próprio solo, nomeadamente a nível da repelência, porosidade e estrutura. Portugal, devido a características como a aridez dos solos e precipitação irregular e intensa, encontra-se inserido no contexto da problemática da degradação dos solos, dado o elevado risco de incêndio associado aos países do Mediterrâneo. Neste artigo, enquadrado no projeto FIRECNUTS (PTDC/AGR-CFL/104559/2008), analisou-se a exportação hídrica da matéria orgânica do solo como consequência do incêndio ocorrido em 26 de Julho de 2010, na localidade de Ermida, concelho de Sever do Vouga, na região centro-norte de Portugal. A área ardida tinha aproximadamente 295 ha. Dentro desta área foram selecionados, dois eucaliptais com geologia diferente (granito e xisto) e um pinhal (xisto) para o estudo do efeito sobre diferentes geologias e povoamentos florestais. Fora da área ardida foi ainda selecionado um eucaliptal não queimado (xisto) como base de comparação para a avaliação do efeito do incêndio. A monitorização semanal iniciou-se aproximadamente 1 mês após o incêndio e teve a duração de 6 meses. Os resultados indicam, à microescala, maior risco de erosão em solos sobre xisto ( $259 \text{ g.m}^{-2}$ ) que em solos sobre granito ( $63 \text{ g.m}^{-2}$ ), e menor risco de erosão no pinhal ( $27 \text{ g.m}^{-2}$ ). Os resultados à escala de encosta sugerem um comportamento contrário na comparação de eucaliptais ( $485$  vs  $36 \text{ g.m}^{-2}$ ), e similares na comparação de eucaliptal com pinhal. A encosta não queimada permite verificar que o incêndio aumenta a erosão, da mesma forma que o aumento da escala parece diminuir o risco de erosão, resultado de maiores interferências, maior tempo de contacto e perda de escorrência. Pode ainda verificar-se que os teores de matéria orgânica permanecem constantes ao longo do tempo, em todas as encostas e às duas escalas (cerca de 60%).

**Palavras-chave: matéria orgânica, erosão, escorrência, solo, incêndios florestais**

## **ABSTRACT**

Burnt soils are more susceptible to erosion, as a consequence of the disappearance of the topsoil caused by wildfires and also due to changes in physical and chemical characteristics of the soil itself, namely, in repellence, porosity and structure. Portugal, due to features as the aridity of soil and irregular and intense rainfall, is included in the context of soil degradation, given the high risk of fire associated to Mediterranean countries. In this study, framed in the project FIRECNUTS (PTDC/AGR-CFL/104559/2008), hydric exportation of soil's organic matter was analysed, as a consequence of the fire that occurred in the 26<sup>th</sup> of July in 2010, in Ermida, district of Aveiro, in the Central-North region in Portugal. The burnt area had about 295 ha. Inside this area 3 slopes were selected, 2 eucalypt plantations with different geology (granite and schist) and a pine plantation (schist) for the study of the effects over different types of geology and woodlands. Outside the burnt area, was also selected an unburned eucalypt plantation (schist), as a basis of comparison, to evaluate the effect of the fire. In each of the slopes were installed tanks to collect run-off, four at slope-scale and three at micro-plot scale, with the exception of the unburned area that only had slope-scale plots. Besides this installation, soils were characterized at the level of organic matter, texture and bulk density. The weekly monitoring began approximately one month after the fire and lasted 6 months. The results indicate, at micro-scale, increased risk of erosion on soils upon schist ( $259\text{g.m}^{-2}$ ) than in soils upon granite ( $63\text{ gm}^{-2}$ ), and less risk of erosion in the pine forest ( $27\text{ gm}^{-2}$ ). The results, at slope-scale, suggest an opposite behaviour in the comparison between eucalypt plantations (granite and schist) ( $485\text{ vs }36\text{ g.m}^{-2}$ ), and similar behaviour when comparing eucalypt plantations (schist) with pine forest (schist) ( $36\text{ vs }6\text{ g.m}^{-2}$ ). The unburned slope shows that fire increases erosion, just as higher scales seem to reduce the risk of erosion, as a result of bigger interference, more contact time and run-off loss. It can be also verified that the organic matter levels remain constant over the time, in all slopes and at both scales (about 60%).

**Keywords:** organic matter, erosion, runoff, soil, forest fire

## **2.1 Introdução**

Em Portugal, num ano médio, ardem cerca de 100.00 ha de área florestal (DUDF, 2010). Em 2010, cerca 133.090 ha de área florestal foi consumida pelo fogo, o que representa um acréscimo relativamente à média do decénio, sendo que as espécies mais afetadas foram o pinheiro bravo, o eucalipto e os carvalhos (DUDF, 2010).

Os fenómenos associados a um episódio de incêndio, acarretam consequências que afectam os processos geomorfológicos e hidrológicos que colocam em risco a sustentabilidade dos ecossistemas bem como áreas que não foram diretamente atingidas. Estas consequências traduzem-se em impactos diretos e indiretos como a destruição do coberto, alterações ao nível do solo, aumento da escorrência e respetivas perdas de solo associadas (Shakesby e Doerr, 2006).

De acordo com a revisão bibliográfica Shakesby (2011) é possível perceber de forma mais detalhada estes impactos. O autor afirma que a combustão parcial ou completa da vegetação que cobre o solo e da manta morta se reflete em importantes implicações para a resposta hidrológica no pós-fogo, o que leva à redução de: superfícies das quais possa ocorrer evaporação e transpiração, a capacidade de armazenamento para retenção e detenção e de água e obstáculos à escorrência superficial. Adianta ainda que, dependendo da severidade do incêndio grandes mudanças podem ocorrer no solo e na matéria orgânica. Especificamente, o fogo causa a combustão total ou parcial da matéria orgânica, deteriora a estrutura do solo modificando a sua porosidade e incrementado a densidade aparente, afirma o autor, citando entre outros, Fernández et al. (2004). O fogo implica consequências também a nível da volatilização de nutrientes ou perda por lixiviação (Certini, 2005) e pode ainda aumentar as características de repelência do solo à água (p. e. Shakesby, 2011).

Shakesby (2011) realça ainda o impacto das perdas de matéria orgânica na degradação dos solos florestais como fator a integrar em estudos na região do Mediterrâneo por se tratar de uma zona particularmente afetada.

Assim, este artigo surge no âmbito do Projeto FIRECNUTS (PTDC/AGR-CFL/104559/2008 financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT)) e apresenta resultados de monitorização da erosão bem como da exportação de matéria orgânica associada. Os resultados foram obtidos durante os 6 meses após o fogo ocorrido em Julho de 2010, numa área florestal mista de eucaliptal e pinhal. As observações foram feitas à microescala e à escala de encosta e em diversas

encostas, pretendendo-se comparar geologias os efeitos em geologias e cobertos diferentes.

## **2.2 Materiais e métodos**

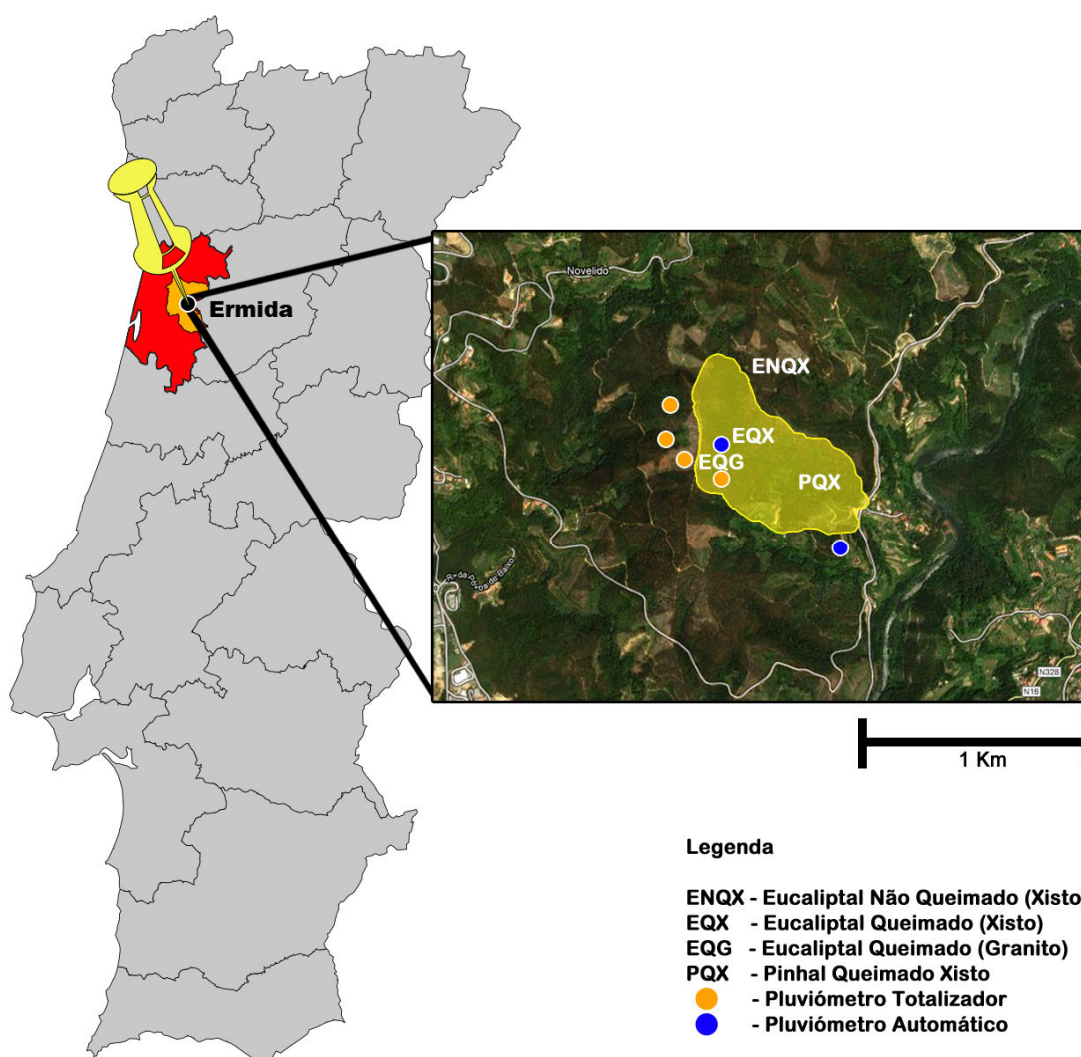
### **2.2.1 Área de estudo**

A área de estudo está localizada na localidade de Ermida, pertencendo ao concelho de Sever do Vouga, distrito de Aveiro, na região centro-norte de Portugal (Figura 4). Segundo o Relatório Anual de Áreas Ardidas e Ocorrências em 2010, a área de estudo, uma zona de cerca de 295 hectares (AFN,2010), coberta principalmente por pinheiros (*Pinus pinaster* Ait.) e eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.) usados com fins comerciais, foi consumida pelo incêndio que ocorreu no dia 26 de Julho de 2010.

A Ermida apresenta médias anuais de temperatura e precipitação de 14,9°C (dados da estação de Barragem de Castelo Borgães situada a 13 Km da área de estudo e a 306m de altitude) e 1609 mm (dados da estação udométrica de Ribeiradio, situada a 4,5 Km da área de estudo e a 228m de altitude), respetivamente (SNIRH, 2011). De acordo com a classificação climática de Kröppen, o clima da bacia é considerado como mesotérmico (temperado) húmido, com Verão seco, moderadamente quente e extenso, caracteristicamente mediterrâneo com influência oceânica (ARH,2002).

Durante o ano de estudo a precipitação total foi de 1426,2 mm com  $I_{30}$  máximo de 32 mm.h<sup>-1</sup> (Figura 5).

Dentro de área de estudo, um total de sete encostas foram instrumentadas para o projeto FIRECNUTS, das quais quatro delas foram selecionadas para o presente estudo. Três diziam respeito à área ardida em 2010, pretendendo-se estudar as diferenças entre os principais usos do solo (eucaliptal vs. pinhal) bem como entre os dois tipos de rocha mãe (xistos vs. granitos). Com a quarta encosta pretendia-se avaliar o efeito do fogo propriamente dito, nomeadamente para eucaliptais sobre xistos. As quatro encostas estão descritas na Tabela 1 (secção dos resultados), enquanto a sua localização é indicado na Figura 4. Os solos destas encostas variam entre Cambisolos e Leptosolos (WRB, 2006).



**Figura 4 – Localização geográfica da área de estudo e dos equipamentos.**

### 2.2.2 Desenho experimental

Duas semanas após a ocorrência do incêndio, cada uma das encostas de estudo foi instrumentada com três micro-parcelas fechadas (BP de “bounded plots”) e quatro parcela abertas à escala de encosta (OP de “open plots”). As dimensões das OP variavam entre 62 m<sup>2</sup> e 154 m<sup>2</sup>, enquanto as áreas contributivas dos BP variavam entre 0,25 m<sup>2</sup> e 0,27 m<sup>2</sup>, consoante o declive e o comprimento das encostas (Tabela 1). As saídas das parcelas estavam localizadas na base das encostas, distanciadas poucos metros no caso das BP e encostados no caso dos OP. As saídas estavam ligadas a tanques de 40 (BP) a 70 litros (OP) para a recolha da escorrência

(Figura 5). Dentro de área de estudo foram ainda instalados 2 pluviômetros automáticos e 4 pluviômetros totalizadores.

Embora a monitorização (à escala de encosta) das parcelas do EQX e do ENQX tenha decorrido durante todo o primeiro ano após o incêndio, para efeitos de comparação apenas foram considerados os primeiros 6 meses, uma vez que o terraceamento das outras encostas sós permitiu a monitorização das mesmas durante 6 meses. A tabela 1, apresentada na secção dos resultados, resume as características gerais das encostas.



**Figura 5 - Exemplo de uma microparcela e tanques de recolha de escorrência**

### 2.2.3 Recolha de dados e amostras

A partir do primeiro evento chuvoso após o fogo, em Agosto de 2010, a escorrência recolhida nos tanques foi medida semanalmente, sempre que ocorria precipitação. Também a chuva nos pluviômetros totalizadores foi medida em cada saída de campo. Foram recolhidas amostras de escorrência, devidamente homogeneizadas, numa garrafa polietileno (PET 1,5 L) para posterior filtração em laboratório.

Foram ainda recolhidas amostras de solo nas várias encostas logo após o fogo e subsequentemente com intervalos de um mês. Para cada encosta foi feito um transepto vertical, desde a base até ao topo de encosta, constituído por cinco pontos equidistantes. Em cada um destes pontos foram recolhidas amostras das

cinzas/manta morta e amostras de solo a profundidades de 0-2 cm e 2-5 cm. As cinzas foram recolhidas numa área de 50cm por 50cm, enquanto as restantes camadas de solo e manta morta foram recolhida numa área de 25cm por 25cm. Foram ainda recolhidas uma única vez, amostras de solo à profundidade de 0-5 cm com um anel de dimensões conhecidas para cálculo da densidade aparente. No entanto, para este estudo apenas foi considerado a primeira amostragem após o fogo.

#### 2.2.4 Análise laboratorial

As amostras de escorrência recolhidas em campo nas garrafas de PET (1,5L) foram filtradas na sua totalidade, gravimetricamente, com filtros de 330 mm de diâmetro e porosidade 12-15  $\mu\text{m}$ , que foram secos e pesados previamente. Todo o material recolhido no filtro, foi seco a 105°C durante 24 horas numa estufa, para a determinação da concentração dos sedimentos, e posteriormente calcinado a 550°C durante 4 horas para a determinação da matéria orgânica. (Botelho da Costa, 2004).

As amostras de cinzas/manta morta e solo foram secas ao ar antes de serem armazenadas. Antes da sua análise, as amostras de solo foram peneiradas, utilizando crivos com malhas de 2 mm de diâmetro. A fração maior de 2 mm foi removida, enquanto o restante do material foi analisado em termos de teor de matéria orgânica e textura. A matéria orgânica dos solos foi determinada por calcinação, tal como, mencionado para os sedimentos totais das amostras de escorrência.

A textura foi determinada usando uma amostra (0-2 cm) para cada encosta pelo método internacional e seguindo a classificação do USDA.

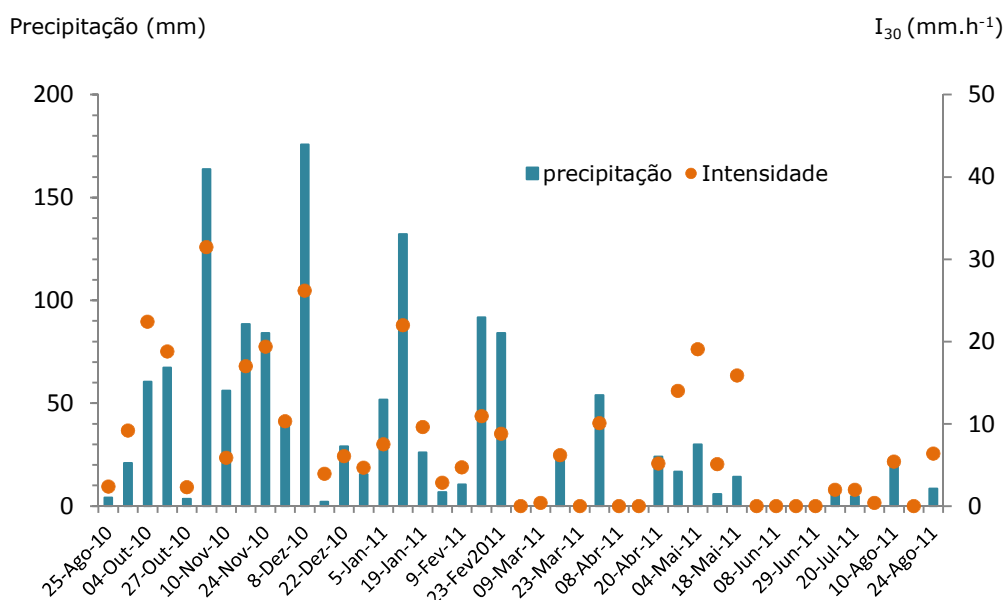
A densidade aparente foi determinada a partir de amostras de solos, recolhidas sem alterar a sua estrutura, com cilindros de volume conhecido. Determinou-se massa por secagem a 105°C durante 24 horas e os resultados expressam-se em  $\text{g.cm}^{-3}$

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Caracterização global

#### 2.3.1.1 Características gerais

A monitorização dos locais em estudo foi realizada no período de Agosto de 2010 a Agosto de 2011, deste modo, os resultados obtidos são referentes a esse intervalo. A precipitação total registada neste período foi de 1426 mm com um  $I_{30}$  máx registado de 21,50  $\text{mm.h}^{-1}$ . Destacam-se os três maiores eventos, os dias 3 de Novembro, 8 de Dezembro e 12 de Janeiro, que representam 472 mm, 33% da precipitação total do ano de monitorização (Figura 6).



**Figura 6 - Variação da precipitação semanal total e do respectivo  $I_{30}$  durante o primeiro ano após o fogo.**

As características que definem as encostas em estudo encontram-se detalhadas na Tabela 1.



Tabela 1 – Características gerais das quatro encostas em estudo

Nome	EQG	EQX	PQX	ENQX
<b>Coberto dominante</b>	eucaliptal	eucaliptal	pinhal	eucaliptal
<b>Ardida em 2010</b>	sim	sim	sim	não
<b>Período amostragem pós-fogo(meses)</b>	6*	6*	12	12
<b>Rocha</b>	granito	xisto	xisto	xisto
<b>Textura</b>	Franco-arenoso	Franco	Franco-argilo-arenoso	--
<b>Inclinação BP/OP(°)</b>	20/25,6	17/24	26,6/26,2	25
<b>Comprimento encosta (m)</b>	77	48	35,5	31,9
<b>Área de projectada BP/OP (m<sup>2</sup>)</b>	0,27/154	0,27/97	0,25/74,9	61,9

\*Devido ao terraceamento destas encostas, a sua monitorização só foi possível durante os primeiros 6 meses após o incêndio. BP: parcelas fechadas; OP: parcelas abertas

### 2.3.1.2 Os solos

As principais características dos solos das quatro encostas em estudo encontram-se apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Teor de matéria orgânica nas diferentes profundidades do solo e nas cinzas, nas diferentes encostas em estudo.

Encosta	% Matéria Orgânica						Classe textura	Densidade aparente (g.cm <sup>-3</sup> )
	Cinzas	0-2 cm	2-5 cm	%Areia	%Limo	%Argila		
<b>EQG</b>	46±3	29,0±1,0	21,0±1,0	61	24	15	Franco-arenoso	0,7±0,1
<b>EQX</b>	30±3	22,0±0,5	22,0±0,4	45	33	22	Franco-argilo-arenoso	0,8±0,2
<b>PQX</b>	50±1	19,0±2,0	24,0±0,5	54	25	21	Franco	0,7±0,1
<b>ENQX</b>	--	16,0±0,5	15,0±0,4	--	--	--	--	0,9±0,2

Em relação aos solos queimados (EQX, EQG e PQX), verifica-se que a fração mais elevada é a de areia, o mesmo é verificado por Faria (2008) e por Stoof et al., (2010) que estudaram solos do centro norte de Portugal, recentemente ardidos, seguindo-se os limos e por fim as argilas. A comparação entre encostas, mostra que

a textura do solo varia conforme a geologia e o tipo de coberto e pode verificar-se que, nesta área de estudo, solos em rocha mãe xisto são mais argilosos que os graníticos e que o solo granítico apresenta maior teor de areia.

No que toca à densidade aparente, não existe uma diferença significativa entre encostas com valores que variam entre 0,7 e 0,9 cm<sup>-3</sup>, semelhante ao encontrado por Ferreira et al., (2000) para uma área ardida de eucaliptos no Centro norte de Portugal em condições semelhantes às da Ermida.

No que respeita ao teor de matéria orgânica das cinzas, verifica-se que entre eucaliptais, o EQX apresenta o teor mais baixo (30%), sugerindo que o incêndio tenha consumido, mais intensidade de biomassa florestal, e provavelmente com um incêndio mais severo. O PQX apresenta o valor mais alto de matéria orgânica nas cinzas (50%) sugerindo que o incêndio foi mais severo no eucaliptal ou que a percentagem de manta morta a cobrir o solo era maior no PQX. A matéria orgânica encontrada nos solos mostra que no EQG este teor diminui com a profundidade (29% na camada de 0-2 cm e 21% na camada de 2-5 cm), no EQX mantém-se (22%) e no PQX aumenta (de 19 para 24%). O eucaliptal não queimado apresenta valores constantes e os baixos (16%). A comparação entre encostas sugere que os pinhais apresentam solos menos orgânicos e a rocha granítica suporta solos mais ricos em matéria orgânica.

### **2.3.1.3 Escorrência, perdas de solo e matéria orgânica**

A Tabela 3 apresenta os valores médios de precipitação, escorrência, erosão e perda de matéria orgânica para as diferentes encostas e respetivos períodos de amostragem. Para efeitos de comparação, apenas foram considerados os dados relativos aos 6 meses de monitorização do eucaliptal não ardido (EQNX) e do pinhal ardido (PQX).

**Tabela 3 – Médias de precipitação, escorrência, erosão e perda de matéria orgânica ao longo dos primeiros 6 e 12 meses após o incêndio, nas quatro encostas.**

Variáveis	Microescala				Escala de encosta			
	EQ(granito)	EQ(xisto)	PQ(xisto)		EQ(granito)	EQ(xisto)	PQ(xisto)	ENQ(xisto)
Período de monitorização (meses)	6				6	6	12	12
Total de precipitação (mm)	1214				1214	1214	1426	1426
Total de escorrência (mm)	320	423	302		30	14	15	18
Coefficiente de escorrência (%) (n=3)	26,3	34,8	24,9		2,4	1,1	1,1	1,3
Perda de solo total (g.m <sup>-2</sup> )	63	259	27		485	36	6	3
Perda de matéria orgânica total (g.m <sup>-2</sup> )	35	133	15		178	20	2	2
% MO nos sedimentos do solo	55	51	57		37	57	43	72
Taxa específica de erosão (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> escorrência)	0,2	0,61	0,09		16,36	2,63	0,36	0,18
Taxa específica de perda de MO (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> escorrência)	0,11	0,32	0,05		5,99	1,50	0,14	0,13

À microescala verificam-se diferenças na escorrência entre os diferentes tipos de coberto vegetal e tipo de rocha, O EQX apresenta um total de escorrência de cerca de 30% superior comparativamente ao EQG e PQX.

Quando comparados as perdas de solo nas parcelas fechadas nos eucaliptais queimados, verifica-se que o EQG apresenta uma menor perda de solo ( $63 \text{ g.m}^{-2}$ ) e matéria orgânica ( $35 \text{ g.m}^{-2}$ ) enquanto que no EQX essa perda é bastante superior,  $259 \text{ g.m}^{-2}$  e  $133 \text{ g.m}^{-2}$ , respectivamente. Nesta comparação entre eucaliptais queimados verifica-se que a escorrência contribui para as diferenças nas perdas de solo e matéria orgânica numa extensão menor que as taxas específicas, nomeadamente com um fator de 1,3 (320 mm vs 423 mm) para a diferença de total de escorrência, e com um fator de 4 nas taxas específicas de erosão ( $0,2$  vs  $0,6 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) e perda de MO ( $0,2$  vs  $0,6$  e  $0,11$  vs  $0,32 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ).

Por outro lado, a comparação entre distintas vegetações (eucaliptal queimado e pinhal queimado xisto) o revela maiores diferenças que a comparação entre eucaliptais. O PQX apresenta quantidades inferiores de perdas de solo ( $27 \text{ g.m}^{-2}$ ) e matéria orgânica ( $15 \text{ g.m}^{-2}$ ) em relação ao eucaliptal queimado, respectivamente,  $259 \text{ g.m}^{-2}$  e  $133 \text{ g.m}^{-2}$ . De igual modo a escorrência total e as taxas específicas também são inferiores no PQX, apresentando-se um valor de escorrência 1,5 vezes inferior ao do pinhal (302 vs 423 mm), e as taxas específicas de erosão ( $0,61$  vs  $0,09 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) e de perda de matéria orgânica ( $0,32$  vs  $0,05 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) aproximadamente 7 vezes inferiores.

À escala de encosta, é possível fazer uma análise semelhante à que foi realizada para a microescala, e ainda comparar o eucaliptal queimado em xisto com um eucaliptal não queimado (ENQX). Não se verificam grandes diferenças nos totais de escorrência e coeficientes de escorrência quando comparamos o ENQX (14 mm e 1,1%) e o EQX (16 mm e 1,3%). No entanto, ao comparamos em termos de perda de solo, o EQX e ENQX, ( $36 \text{ g.m}^{-2}$  vs  $3 \text{ g.m}^{-2}$ ) e perda de matéria orgânica ( $20 \text{ g.m}^{-2}$  vs  $2 \text{ g.m}^{-2}$ ), esta diferença é bastante mais acentuada. Esta grande diferença reflete-se também nas taxas específicas de erosão e perda de MO, em que o eucaliptal queimado apresenta valores aproximadamente 10 vezes superiores que o não queimado,  $2,63$  vs  $0,19 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$  e  $1,50$  vs  $0,13 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ , respectivamente. A comparação entre eucaliptal queimado e pinhal resulta nas mesmas conclusões retiradas na microescala: o pinhal apresenta muito menos perda de solo e matéria orgânica que o eucaliptal,  $36 \text{ g.m}^{-2}$  vs  $6 \text{ g.m}^{-2}$  e  $20 \text{ g.m}^{-2}$  vs  $2 \text{ g.m}^{-2}$ , embora em proporções diferentes.

Ao analisarmos para os diferentes tipos de rocha, verifica-se que ao contrário da microescala, o EQG apresenta maior perda de solo e matéria orgânica que o EQX. O total de escorrência no EQG (30 mm) é cerca do dobro da escorrência do EQX (14mm). No entanto, as perdas de solo e matéria orgânica que originam são, respetivamente, 14 e 9 vezes superiores ( $485 \text{ g.m}^{-2}$  vs  $36 \text{ g.m}^{-2}$  e  $178 \text{ g.m}^{-2}$  vs  $20 \text{ g.m}^{-2}$ , que se refletem também nas taxas específicas de erosão e perda de matéria orgânica ( $16,36$  vs  $2,63 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$  e  $5,88$  vs  $11,5$   $16,36$  vs  $2,63 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ , respetivamente).

Esta primeira análise permite verificar que a escorrência influencia as perdas de solo e de matéria orgânica, no entanto as mesmas quantidades de escorrência podem resultar em perdas diferentes quando confrontamos encostas com características diferentes, nomeadamente em termos de coberto. O estudo que se segue, surge no sentido de compreender de que modo a erosão hídrica se reflete na perda de matéria orgânica nos diferentes tipos de solo (xisto e granito) e de vegetação (eucalipto e pinhal). Esta abordagem passa numa primeira fase pela compreensão do processo hidrológico, que se seguirá da sua relação com as perdas de solo e matéria orgânica. Esta análise será primeiramente referente à microescala e numa fase posterior será estudada a escala de encosta.

### 2.3.2 Microescala

#### **2.3.2.1 Variabilidade espacial**

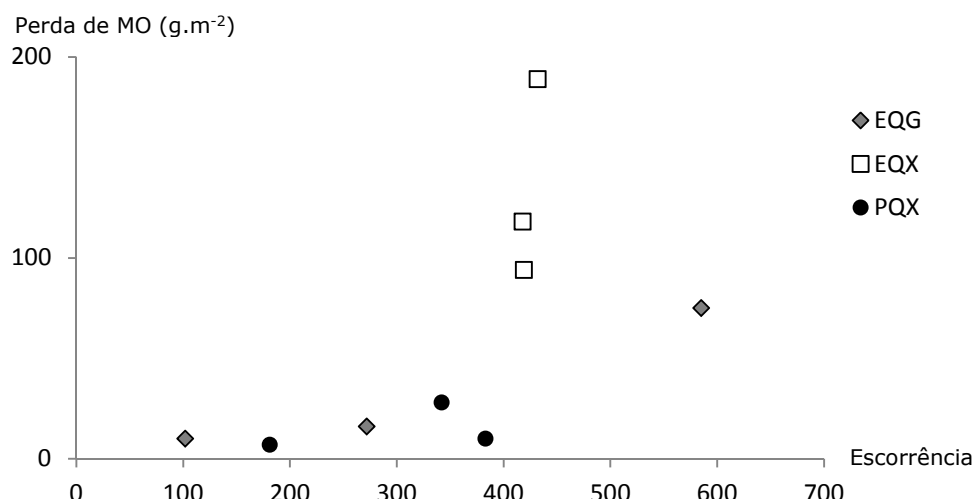
Do ponto de vista espacial, existem diferenças nos coeficientes de escorrência quer entre, Eucalipto e pinhal queimado, xisto e granito quer entre, as parcelas. Nas parcelas do EQG, o mínimo e o máximo variam entre 8,4% e 48,2%. No PQX esta variação, embora mais pequena, não deixa de ser acentuada (14,9%-51,5%). Já no EQX, o comportamento das parcelas é regular. Assim a variabilidade espacial é muito mais pronunciada no EQG e no PQX do que no EQX e verifica-se (ver Tabela 1) que a escorrência global máxima coincide com a menor variabilidade espacial (EQX). Apesar dos totais de escorrência nos EQG e PQX serem, regra geral, menores que no EQX, os coeficientes de escorrência máximos das parcelas destas encostas atingem uma percentagem cerca de duas vezes superior (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de precipitação, escorrência, erosão, perda de matéria orgânica e outras variáveis, no período de monitorização, nas micro-parcelas em estudo.

Variáveis	EQG			EQX			PQX		
	P1	P 2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
<b>Período de monitorização (meses)</b>	6			6			6		
<b>Total de precipitação (mm)</b>	1214			1214			1214		
<b>Total de escorrência (mm)</b>	272	102	585	418	432	419	181	342	383
<b>Coefficiente de escorrência (%) (n=21)</b>	22,4	8,4	48,2	34,4	35,6	34,5	14,9	28,2	51,5
<b>Perda de solo total (g.m<sup>-2</sup>)</b>	25	16	144	232	385	167	13	48	18
<b>Perda de matéria orgânica total (g.m<sup>-2</sup>)</b>	16	10	75	118	189	94	7	28	10
<b>% MO nos sedimentos solo</b>	63	61	52	51	49	56	57	59	57
<b>Taxa específica de erosão (g.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup> escorrência)</b>	0,09	0,16	0,25	0,56	0,89	0,40	0,07	0,14	0,05
<b>Taxa específica de perda de MO (g.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup> escorrência)</b>	0,06	0,10	0,13	0,28	0,44	0,22	0,04	0,08	0,03

Tendo em conta os valores globais de perda de solo e de matéria orgânica por área, o EQX apresenta os maiores valores (Tabela 3). No entanto, é evidente a grande variabilidade na perda de solo e matéria orgânica entre as parcelas das três encostas queimadas. Esta variabilidade, no EQG e no PQX, pode estar relacionada com a variabilidade na escorrência, onde valores mais elevados de escorrência se refletem em valores mais elevados de perda de matéria orgânica e solo. Esta análise sugere um maior risco de erosão associado ao EQX, uma vez que o seu valor máximo de coeficiente de escorrência (35,6%), é o menor máximo encontrado nas três encostas, está associado à maior perda de solo (385 g.m<sup>-2</sup>). A grande variabilidade na perda de solo e matéria orgânica, em contraste com a baixa variabilidade na escorrência, sugere também essa hipótese (Tabela 4)

De notar que grande parte destes sedimentos, nas três encostas, (cerca de 50 %) são de fração orgânica. A Figura 7 mostra a relação entre perda de matéria orgânica e escorrência, realçando a grande variabilidade de perda de matéria orgânica e a baixa variabilidade de escorrência no EQX. Mostra ainda que no EQG maior escorrência corresponde a maior perda de matéria orgânica e que no PQX a tendência é semelhante embora não tão evidente para escorrência superior a 350 mm.



**Figura 7- Relação entre escorrência total (mm) e a perda de matéria orgânica (g.m<sup>-2</sup>) para as nove micro-parcelas das três encostas em estudo.**

### 2.3.2.2 Variabilidade espaço-temporal

- **ESCORRÊNCIA:**

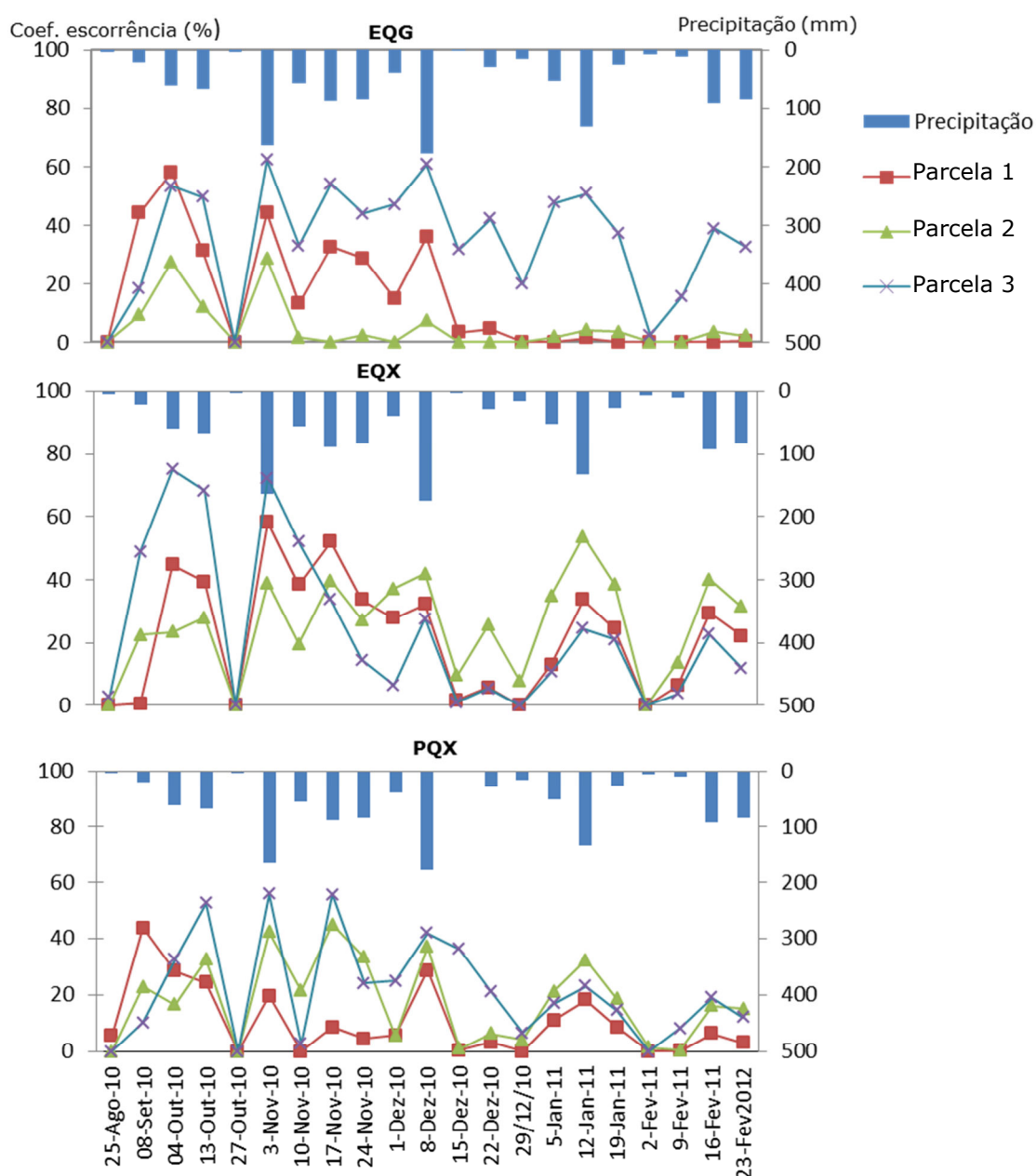
A variabilidade na escorrência entre parcelas apresentada anteriormente (Tabela 4) pode ser explicada pelo comportamento dos coeficientes de escorrência ao longo do tempo (Figura 8).

No EQG é perceptível que até ao mês de Novembro as três parcelas seguem a mesma tendência, sendo que inicialmente os máximos eram atingidos pela parcela 1 e no final de Outubro passaram a surgir na parcela 3. Entre Novembro e a primeira grande chuvada do mês de Dezembro (dia 8), verifica-se que as parcelas 1 e 3 mantêm o mesmo comportamento, enquanto a parcela 2 deixa praticamente de apresentar escorrência. Posteriormente, até ao final do período de monitorização, a parcela 1 tende também a diminuir os coeficientes de escorrência a níveis mínimos. Por outro lado, a parcela 3 mantém-se com valores próximos dos apresentados inicialmente. Os coeficientes de escorrência das 3 parcelas parecem relacionar-se bem entre si (coeficientes de correlação linear entre 0,7 e 0,8), sendo que as parcelas 1 e 2 parecem diminuir os coeficientes de escorrência com o tempo.

No EQX, o comportamento das parcelas é muito semelhante entre si. Inicialmente a parcela 3 apresentava os valores máximos de coeficiente de escorrência e a partir do mês de Novembro os máximos passaram a ser atingidos pela parcela 2. Nesta encosta verifica-se que existe uma pequena tendência para a diminuição dos coeficientes de

escorrência ao longo do tempo nas três parcelas, apresentando uma boa relação entre si (o coeficiente de correlação ( $r$ ) varia entre 0,7 e 0,9)

As parcelas do PQX comportam-se de uma forma mais irregular, ou seja, os máximos atingidos variam entre a parcela 1 (inicialmente) e as parcelas 2 e 3 após o final do mês de Outubro até ao final do período de monitorização. Os coeficientes de escorrência das parcelas apresentam uma excelente relação ( $r$  varia entre 0,87 e 0,96), sendo que a parcela 1 apresenta valores mais baixos e o comportamento das parcelas 2 e 3 é partitamente idêntico. Sendo ainda visível uma ligeira tendência para a diminuição dos coeficientes de escorrência ao longo do tempo.



**Figura 8 - Variação temporal dos coeficientes de escorrência das micro-parcelas das três encostas e os valores de precipitação semais durante o período de monitorização.**



Verifica-se, em todas as parcelas das três encostas, que a escorrência não apresenta um comportamento uniforme na sua distribuição sazonal, o mesmo reportado por Ferreira et al., (2000) em eucaliptais no centro-norte de Portugal, esta heterogeneidade de comportamento temporal da escorrência é enfatizado em áreas ardidas devido à influência da repelência do solo (Coelho et al., 2004) e destruição do coberto provocada pelo incêndio, uma vez que este protege o solo do impacto da precipitação, limitando a escorrência (Nunes et al., 2006). A quantidade de cinzas também é um fator que pode influenciar a escorrência, no sentido em que podem criar uma proteção do solo nos primeiros meses após o incêndio, devido à sua capacidade de retenção de água, diminuindo e limitando a infiltração obstruindo os poros e reduzindo a capacidade de infiltração (Cerdá & Doerr, 2008). Assim, atendendo a que após o incêndio as características do solo são alteradas, era expectável que nos meses consequentes ao incêndio, os níveis de escorrência fossem mais elevados e diminuíssem com o tempo. De facto essa tendência é ligeiramente visível nos EQX e PQX, e nas parcelas 1 e 2 do EQG. No entanto, não é possível tirar conclusões uma vez que o período de monitorização poderá ser curto, não se conseguindo avaliar todas as alterações do incêndio nas propriedades do solo.

Após esta análise é fácil perceber a grande variabilidade no total de escorrência (mm) apresentada na tabela 5. No EQG, a parcela 1 mantém os níveis de escorrência com o tempo daí apresentar o valor máximo de escorrência total (585 mm). As parcelas 1 (272 mm) e 2 (102 mm) apresentam valores totais de escorrência mais próximos e mais baixos uma vez que nestas parcelas os coeficientes de escorrência diminuem com o tempo. No EQX o comportamento dos coeficientes de escorrência das parcelas é muito similar e embora tendam a diminuir com o tempo, fazem-no de uma forma mais lenta e gradual. Os totais de escorrência apresentados anteriormente (tabela 4) revelam isso mesmo, aproximadamente 420 mm para as três parcelas. No PQX embora as parcelas sigam a mesma tendência no que respeita aos coeficientes de escorrência, a parcela 1 mostrou-se mais afastada, com valores inferiores, das parcelas 2 e 3. Os totais de escorrência revelam isso mesmo, parcela 1 com 180 mm e parcelas 2 e 3 com aproximadamente 360 mm.

A comparação entre encostas permite verificar que os eucaliptais apresentam maiores coeficientes de escorrência que os pinhais, provavelmente devido a cobertura de folhagem das árvores que cobriam o solo. Por outro lado, a comparação entre eucaliptais indicam que solos graníticos apresentam maior tendência a variabilidade espacial, uma vez que as parcelas do EQG apresentam diferenças mais pronunciadas. Estas diferenças podem dever-se à maior inclinação de uma das parcelas (parcela 1)

que podem resultar numa maior velocidade de escorrência nesta parcela, ou devido ao facto das parcelas 2 e 3 poderem estar junto de macro poros provocando a infiltração da escorrência.

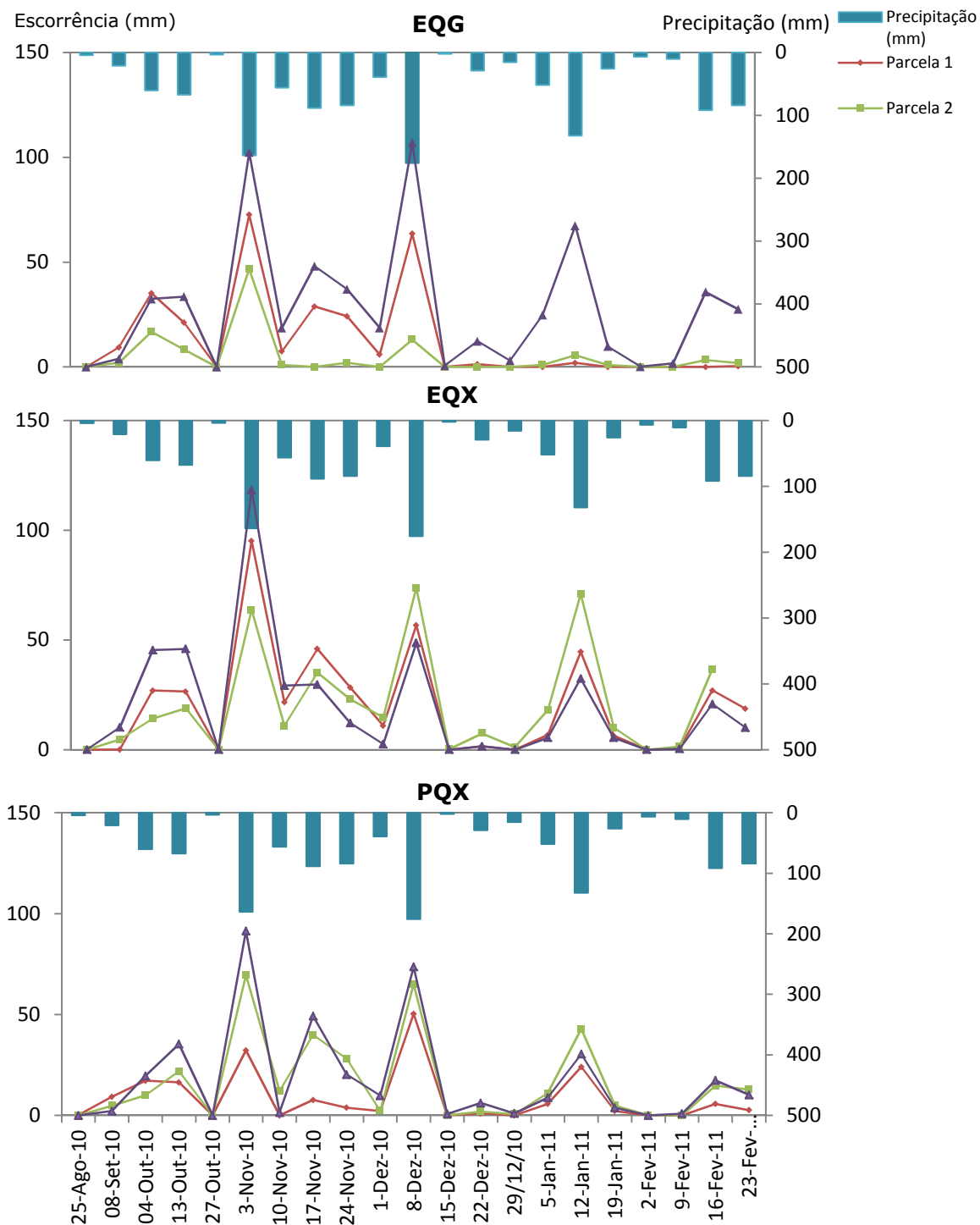
Depois de caracterizado o comportamento dos coeficientes de escorrência, ou seja, a forma como o solo se comporta em relação à água que escoia após o incêndio, importa traduzi-lo em quantidade de água. Assim, a Figura 9 representa o comportamento da escorrência (mm) das micro-parcelas das três encostas. Esta análise é importante uma que vez que servirá de base para a comparação e compreensão no seu efeito na perda de matéria orgânica.

Como já referido anteriormente, as parcelas do EQG apresentam grande variabilidade, sendo bastante visível que a escorrência (mm) é mais elevada na parcela 3, não havendo tendência para a diminuição com o tempo, ao contrário das parcelas 1 e 2. As parcelas do EQX mostram-se similares no seu comportamento e as parcelas do PQX também se comportam de uma forma semelhante à exceção da parcela 1 que apresenta volumes de escorrência mais reduzidos.

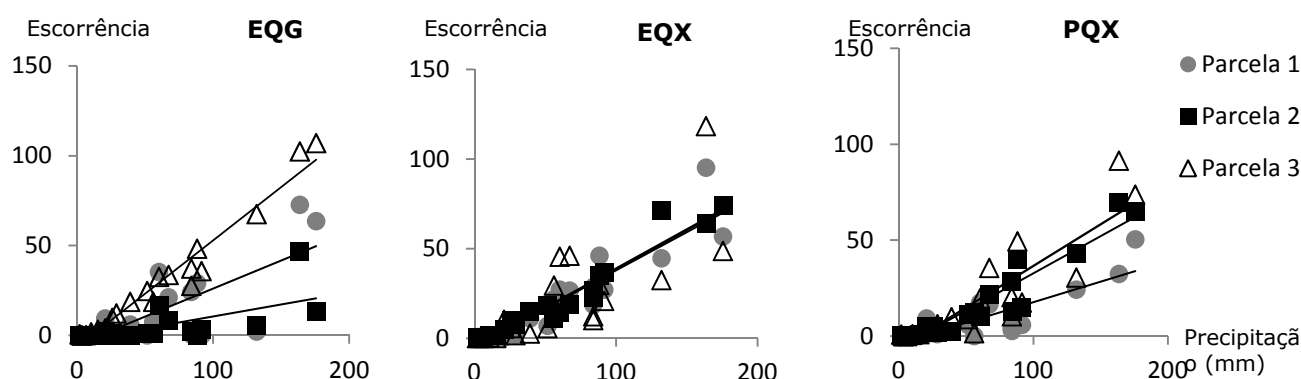
De uma forma geral verifica-se que os eventos de maior precipitação correspondem aos eventos de maior escorrência. Assim calcularam-se os coeficientes de correlação linear ( $r$ ) entre estes dois parâmetros e verificou-se essa boa relação, sendo: para o EQG 0,87; 0,81 e 0,99 para as parcelas 1, 2 e 3, respetivamente (Figura 10). Estes valores indicam que a parcela 3 é a que melhor se relaciona com a precipitação e embora a relação das parcelas 1 e 2 também seja boa, mostram que o facto destas parcelas deixarem de apresentar escorrência pode ter influência do terreno no sentido em que o acesso as parcelas sofreu alterações. As parcelas do EQX apresentam um comportamento homogéneo, como já referido e uma boa relação com a precipitação, os seus coeficientes de correlação linear variam entre 0,95 e 0,98. Como no EQG, uma das parcelas do PQX (parcela 1) apresenta um comportamento mais afastado das outras, e a sua relação com a precipitação é de facto mais fraca ( $r=0,88$ ) que a das parcelas 2 e 3 que apresentam  $r$  de 0,97 e 0,92 respetivamente.

Os resultados sugerem que o EQG apresenta maior variabilidade que no respeito a relação da precipitação com a escorrência que o EQX. E que o pinhal em xisto também apresenta maior variabilidade que o eucaliptal. No que respeita a totais semanais (mm) os eucaliptais apresentam valores próximos, no entanto mais baixos no EQG, à exceção da parcela 3. Isto pode dever-se ao facto da parcela 3 ser mais inclinada que as parcelas 1 e 2. O confronto entre pinhal eucaliptal (xisto) sugere que no pinhal a

escorrência é menor, possivelmente devido à proteção conferida ao solo pela folhagem que continua presente, uma vez que o incêndio parece ter sido menos severo nesta encosta.



**Figura 9 - Variação temporal dos totais semanais de escoamento (mm) nas micro-parcelas das três encostas.**



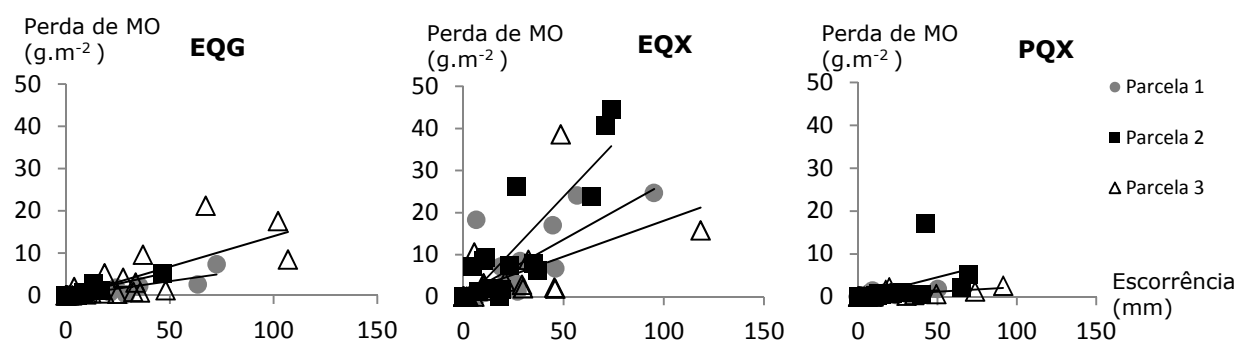
**Figura 10 – correlação linear entre precipitação (mm) e escurrência (mm) para as micro-parcelas das três encostas.**

Além da precipitação, a intensidade ( $I_{30}$ ) com que esta atinge o solo, é um fator que determina também a escurrência. Nas três encostas as parcelas apresentam boa relação com o  $I_{30}$  (mm.h<sup>-1</sup>) variando entre 0,87 e 0,95 no EQG, entre 0,91 e 0,96 no EQX e entre 0,92 e 0,96 no PQX.

#### • PERDA DE SEDIMENTOS E MATÉRIA ORGÂNICA:

Após a análise da variabilidade espacial em termos de perdas de matéria orgânica e solo por área, verifica-se que existe uma forte relação entre ambos. Assim, calculou-se o coeficiente de correlação linear entre estes dois parâmetros (com valores médios) sendo 0,99 para as três encostas. Desta forma, dada esta excelente relação, nas abordagens seguintes apenas serão referidos os valores de perda de matéria orgânica (tema principal deste artigo) e assumido que o comportamento da perda de sedimentos é igual.

Feita a caracterização espaço-temporal da escurrência, pretende-se agora perceber de que forma este fator influencia a perda de matéria orgânica. De facto, a relação entre escurrência e perda de matéria existe mas não tão forte para todas as parcelas. Os coeficientes de correlação linear mostram isso mesmo. No EQG os  $r$  calculados são 0,88; 0,95 e 0,76 para as parcelas 1, 2 e 3 respetivamente. No EQX são, parcelas 1 (0,79), parcela 2 (0,88) e parcela 3 (0,54). No PQX os coeficientes são de 0,72, 0,53 e 0,72 para as parcelas 1, 2 e 3 (Figura 11).



**Figura 11- Correlação linear entre esco­rrência (mm) e perda de matéria orgânica (g.m<sup>-2</sup>) nas microparcelas das três encostas.**

Note-se que os principais picos de perda de matéria orgânica acontecem nas mesmas datas para as três encostas, no entanto os seus máximos são atingidos em alturas diferentes. Estes picos ocorrem principalmente no período entre 3 de Novembro e 12 de Janeiro, onde se encontram os principais eventos de precipitação e por consequência maior esco­rrência (Figura 11). No EQG, os quatro picos apresentados neste período (3 Novembro, 24 Novembro, 8 Dezembro e 12 Janeiro) representam cerca de 73%, 82% e 77% da perda de matéria orgânica, das parcelas 1, 2 e 3 respetivamente. O valor é mais acentuado na parcela 2, uma vez que praticamente não ocorre geração de esco­rrência nesta parcela sendo que os picos apresentados representam quase a totalidade da sua perda de matéria orgânica. Nas parcelas do EQX, a perda em massa de matéria orgânica acompanha a homogeneidade do comportamento da esco­rrência nas 3 parcelas, sendo que, estes eventos representam aproximadamente 70% das perdas de matéria orgânica nas 3 parcelas. O PQX, a cobertura de folhagem que protegeu o solo da esco­rrência, diminuindo a quantidade e a velocidade da água que escorre, protege desta forma também o solo da erosão. Além de já se ter verificado que a perda de matéria orgânica é muito menor nesta encosta verifica-se agora que a perda de matéria orgânica está muito mais distribuída ao longo do tempo, não tendo este 4 eventos tanto impacto nesta encosta, representando cerca de 40% nas parcelas 1 e 3. O mesmo não se verifica na parcela 2 que, embora apresente coeficientes e totais de esco­rrência similares à parcela 3, apresenta muito maior perda de matéria orgânica nestes eventos, cerca de 87% do seu total. Isto pode dever-se ao tipo de sedimentos que se encontravam disponíveis para transporte, quantidade de cinzas ou até mesmo ao facto de ter mais folhagem na área da desta parcela (Figura 12).

Uma análise individual de cada parcela permite compreender melhor o seu comportamento singular e o seu contributo para a média e valores totais da encosta para um melhor conhecimento das diferenças entre encostas. Como expectável, por apresentar mais escorrência, no EQG, a parcela 3 apresenta ao longo do tempo a maior perda de matéria orgânica. As parcelas 1 e 2 apresentam um comportamento praticamente igual. Embora os resultados não coincidam exatamente com os resultados de escorrência, verifica-se uma relação. Após o maior evento de precipitação (8 Dezembro) estas duas parcelas deixam praticamente de apresentar escorrência e perda de matéria orgânica. No entanto, a parcela 3, não se revela tão linear, apresentando maior tendência para a perda de matéria orgânica, isto é, quantidades de escorrência semelhantes resultam em perdas de matéria orgânica muito diferentes (em relação a si mesma e as parcelas 1 e 2). Este comportamento pode dever-se ao tipo de sedimentos e à disponibilidade de cinzas presentes na parcela. A inclinação mais acentuada desta parcela pode também aumentar a força de arrasto da água aumentando-lhe a capacidade de transporte de sedimentos. As parcelas do EQX parecem melhor relacionar-se com a escorrência, no entanto o máximo pelas 3 parcelas na perda de matéria orgânica não é atingido no máximo de maior escorrência e os coeficientes de correlação linear revelam-se mais fracos. Isto pode dever-se a fatores relacionados com o solo, note-se ainda que, a parcela 2 quando atinge o máximo de perda de matéria orgânica apresenta um ligeiro aumento relativamente as outras parcelas, não apresentando na escorrência. Este comportamento é similar ao encontrado na parcela 3 do EQG. Nas parcelas do PQX, a perda de matéria orgânica apresenta comportamentos semelhantes, com uma exceção na parcela 3 (12 de Janeiro). Embora existam muitos picos de escorrência a perda de matéria orgânica nas parcelas 1 e 3 é praticamente inexistente. A parcela 2 apresenta valores dispares de perda de matéria orgânica não apresentando relação aparente com a escorrência. Sendo a parcela que mais contribui para a média final da encosta. Como já referido, nesta encosta o incêndio parece ter sido menos severo, ainda com presença de alguma proteção na superfície do solo, o que se reflete nos baixos valores de perda de matéria orgânica e consequente diminuição na erosão, uma vez que conduz a uma menor taxa de escorrência. No entanto, os elevados valores apresentados pela parcela 2 pode dever-se ao facto de conter mais sedimentos orgânicos, vindos da folhagem que se encontrava no solo ou nas cinzas (Figura 12).

A comparação entre eucaliptais sugere que o EQX apresenta maior homogeneidade de comportamento das parcelas em termos de perda de matéria orgânica sendo este comportamento mais coerente com o comportamento da escorrência. No EQG embora

a parcela 3 se destaque na perda de matéria orgânica e na escorrência a sua relação não é linear ao longo do tempo nem com o comportamento das outras parcelas, sugerindo influências do terreno. Sendo visível que o EQX apresenta maior tendência para a perda em massa de matéria orgânica.

A comparação entre pinhal e eucaliptal com a mesma rocha mãe (EQX vs PQX) revela a menor propensão para a perda de matéria orgânica no PQX no entanto maior variabilidade entre as parcelas.

É perceptível que existe uma relação entre perda em massa de matéria orgânica e a escorrência, sendo que maior escorrência se traduz em maior perda de matéria orgânica, no entanto outros fatores podem influenciar a capacidade de transporte da escorrência, como a concentração e a intensidade da chuva ( $I_{30}$ ). Assim, pretende-se estudar estes fatores e perceber de que forma se refletem na perda de matéria orgânica.

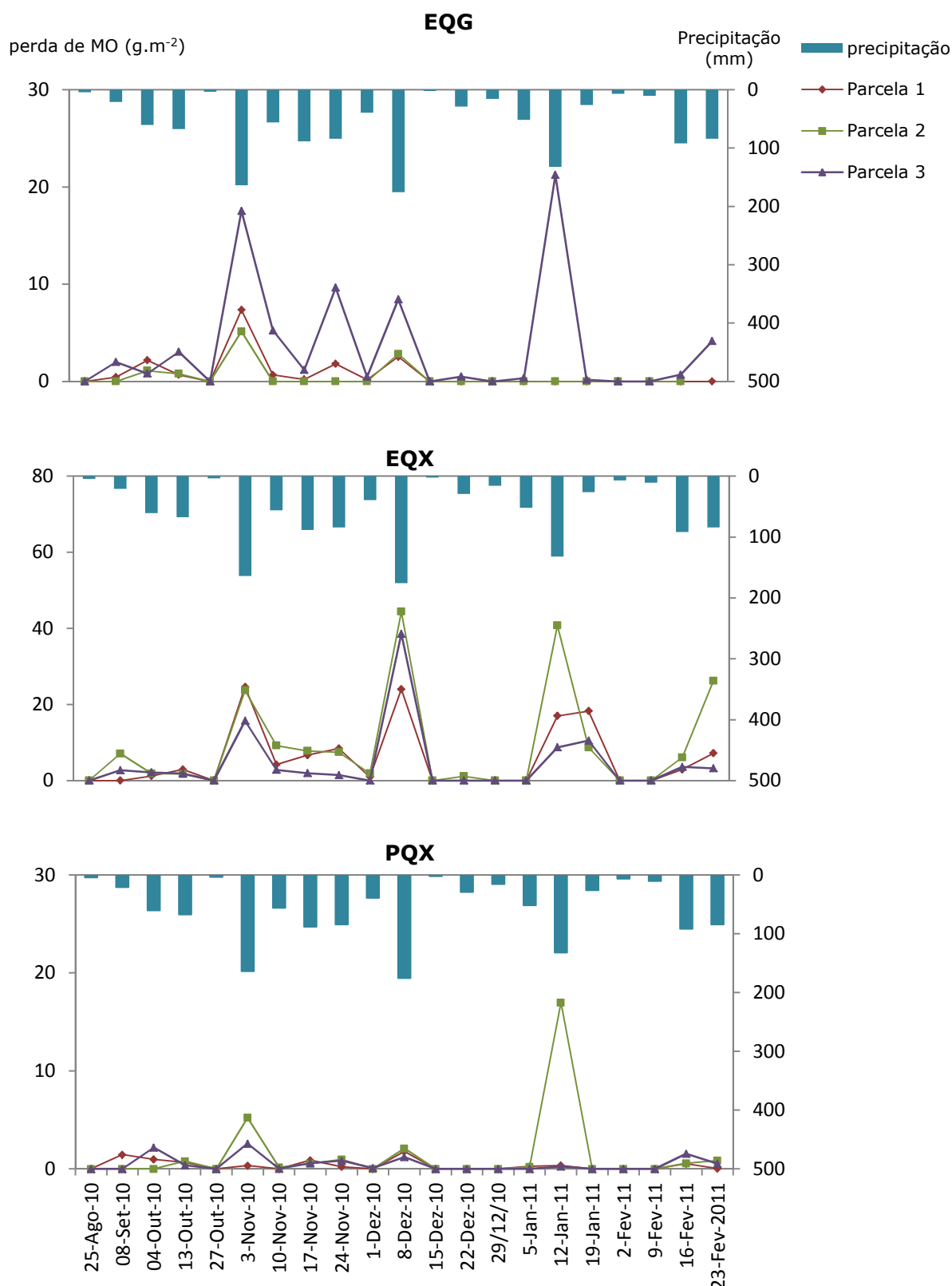


Figura 12 – Evolução das perdas de matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ) ao longo do tempo nas micro-parcelas das três encostas



A concentração expressa a massa de matéria orgânica transportada por um milímetro de escorrência. Desta forma é facilitada a comparação entre as parcelas e entre encostas, eliminando fatores variáveis como a quantidade de escorrência. Na análise da variabilidade temporal da concentração, são visíveis diferenças entre parcelas das três encostas. Numa primeira abordagem verifica-se que nas três encostas existe uma parcela que se destaca do comportamento das restantes e que existem picos desfasados entre encostas. No entanto no início da monitorização, verifica-se que nos dois eucaliptais queimados, os máximos atingidos (8 Setembro) são bastante elevados e cerca de 100 vezes superior no EQX ( $0,6$  vs  $64 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) (Figura 13).

No EQG verifica-se ainda que a parcela 3 apresenta valores superiores aos das parcelas 1 e 2 e muitas oscilações ao longo do tempo. As parcelas 1 e 2 apresentam concentrações próximas entre si, baixas em comparação à parcela 1, com tendência a que a concentração diminua com o tempo. No entanto, no evento de maior precipitação (8 de Dezembro) a parcela 2 apresenta concentrações superiores às das parcelas 1 e 3, possivelmente por acumulação de sedimentos até à data (Figura 13).

No EQX é perceptível, à exceção do primeiro evento de precipitação (8 de Setembro), que as 3 parcelas seguem a mesma tendência em termos de concentração, não variando muito até a um evento no mês de Janeiro (dia 19) que as três parcelas apresentam um acréscimo nos valores e concentração mais evidente na parcela 1 que atinge valores cerca de 10 vezes superiores ( $5 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) à média da encosta (Figura 13).

As parcelas do PQX, apresentam um comportamento mais homogéneo entre si, no entanto as parcelas alternam no que respeita a máximos semanais. Embora com valores muito baixos, a parcela 3 apresenta os valores mais altos ao longo do tempo, contrariamente às perdas em massa por área. No entanto, a concentração máxima da encosta é atingida pela parcela 2, no evento de maior precipitação do mês de Janeiro (Figura 13).

A comparação de encostas, sugere que entre eucaliptais existe uma grande diferença, havendo maior variabilidade entre as parcelas no EQG, embora, no EQX, os máximos apresentados pelas parcelas 1 e 2 sejam extremamente elevados em comparação ao comportamento geral das encostas ao longo do tempo (Figura 13).

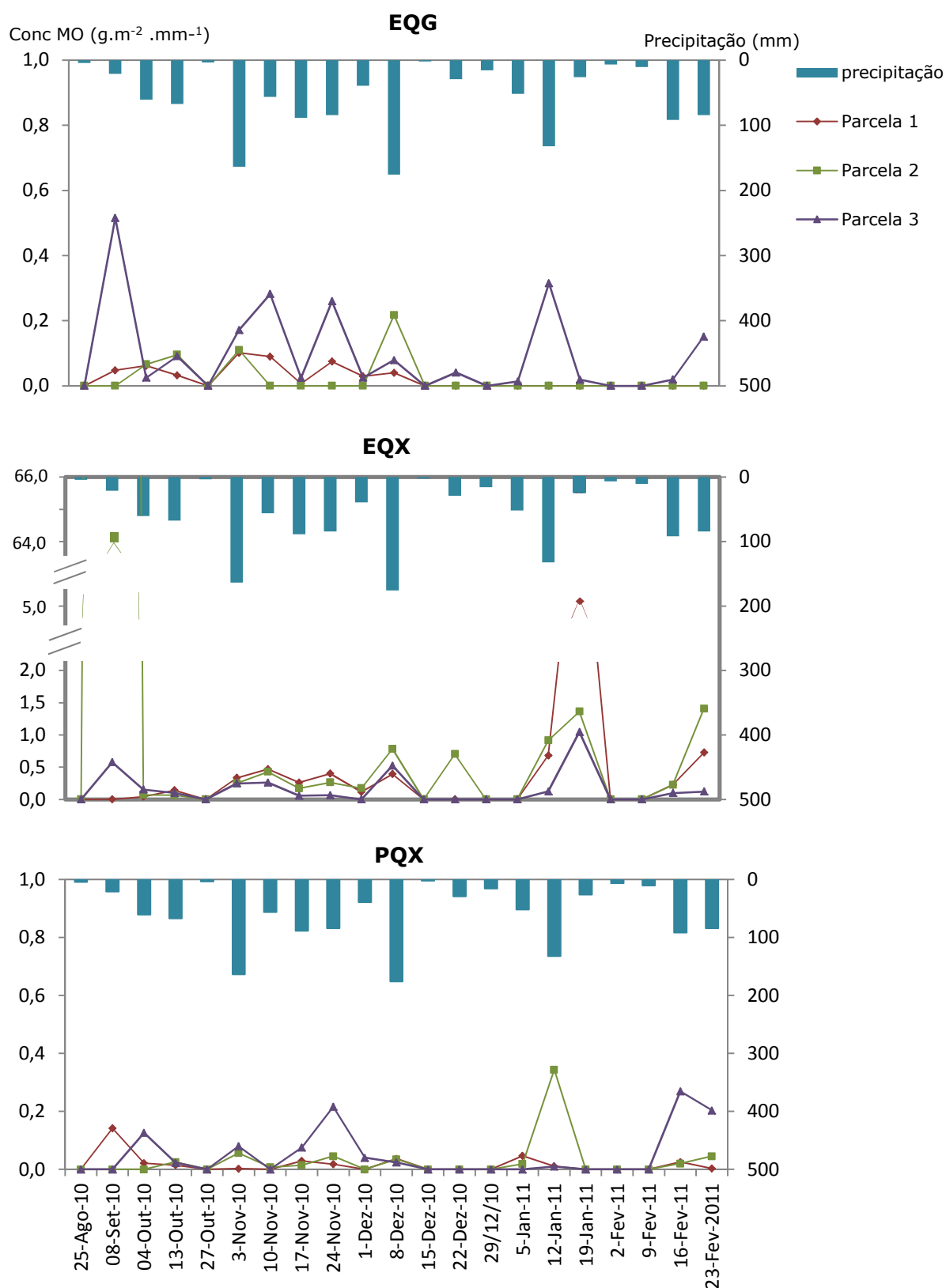


Figura 13 - Evolução da concentração de matéria orgânica (g.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup>) ao longo do tempo nas micro-parcelas das três encostas

Após se analisar o comportamento da perda de matéria orgânica em massa e se perceber que a quantidade exportada é influenciada pela escorrência, interessa perceber se em termos percentuais a exportação de matéria orgânica tende a diminuir. De facto, verifica-se que embora em termos totais ( $\text{g.m}^{-2}$ ) exista grande variabilidade entre parcelas e encostas, o mesmo não acontece em percentagens (Figura 14). Isto é, a quantidade de matéria orgânica presente no solo erodido mantém-se constante com o tempo, dentro de um intervalo limitado (40-70%) nas três encostas (valores médios). Admite-se que continua a haver uma fonte de matéria orgânica, possivelmente as cinzas presentes no solo, uma vez que estas percentagens são superiores às encontradas nos solos destas encostas (Tabela 2).

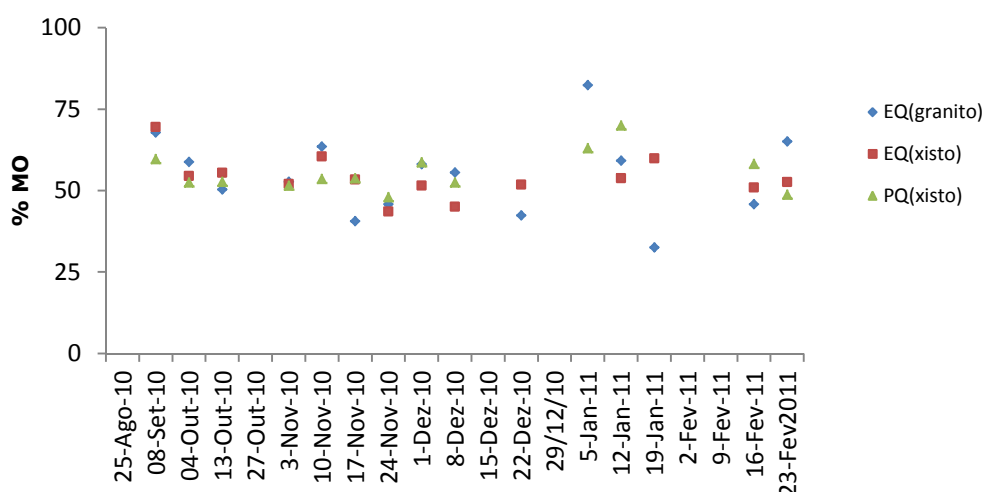


Figura 14 - Percentagem (média) de matéria orgânica nas três encostas à microescala.

### 2.3.3 Escala de encosta

#### **2.3.3.1 Variabilidade espacial**

À escala de encosta verifica-se que os coeficientes de escorrência são muito semelhantes entre parcelas e encostas. Apenas se verifica um valor incoerente na parcela 8 do EQG (4,2%) que, embora não sendo muito elevado dada a baixa magnitude dos restantes coeficientes se torna exagerado (Tabela 5).

**Tabela 5 – Valores de precipitação, escorrência, erosão, perda de matéria orgânica e outras variáveis, nos primeiros seis meses após o incêndio, nas quatro parcelas de cada encosta à escola de encosta.**

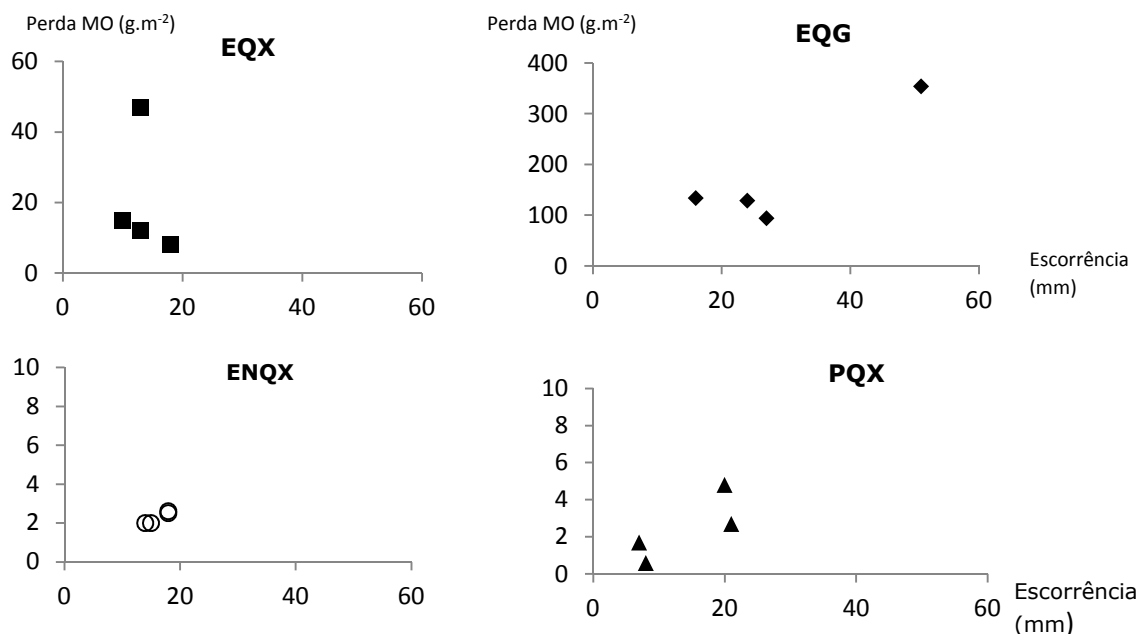
Variáveis	EQG				EQX				PQX				ENQX			
	P5	P6	P7	P8	P5	P6	P7	P8	P5	P6	P7	P8	P5	P6	P7	P8
<b>P. monit (meses)</b>	6				6				6				6			
<b>T. prec. (mm)</b>	1214				1214				1214				1214			
<b>T. escorr</b>	16	24	27	51	13	13	10	18	7	21	20	8	14	18	18	15
<b>Coef. de escorr (%) (n=21)</b>	1,4	2,0	2,3	4,2	1,1	1,1	0,9	1,5	0,6	1,7	1,7	0,7	1,1	1,5	1,5	1,2
<b>P. sed. total (g.m<sup>-2</sup>)</b>	281	345	264	1052	25	80	24	15	5	6	10	1	3	3	4	4
<b>P. mo. total (g.m<sup>-2</sup>)</b>	134	129	94	354	12	47	15	8	1,7	2,7	4,8	0,6	2,0	2,6	2,5	2,0
<b>% MO nos sed</b>	48	37	36	34	48	59	63	53	34	45	48	60	67	87	63	50
<b>T. esp. Erosão (g.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup> escorr.)</b>	17,6	14,4	9,8	20,6	1,9	6,2	2,4	0,8	0,7	0,3	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
<b>T. esp. P.MO.(g.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup> escorr.)</b>	8,4	5,4	3,5	6,9	0,9	3,6	1,5	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Em termos totais de escorrência (mm), é perceptível a grande variabilidade existente em praticamente todas as encostas. O EQG apresenta a maior variabilidade, o máximo e o mínimo, de total de escorrência, variam em cerca de 3 fatores (16-51 mm). Com a mesma variação, mas com máximos e mínimos inferiores, comporta-se o PQX (7-21 mm). O EQX e o ENQX apresentam a menor variação. No eucaliptal queimado o total de escorrência máximo é cerca do dobro do valor mínimo (10-18 mm), já no eucaliptal não queimado os valores máximo e mínimo são praticamente iguais (14-18 mm).

Esta grande variabilidade na escorrência, reflete-se na grande variabilidade na perda de solo e matéria orgânica (Figura 15). No entanto, nem em todas as encostas, máximos de escorrência coincidem com os máximos de perda de solo e de matéria orgânica. Estão questões mais evidentes no EQX onde a parcela com maiores valores de escorrência, parcela 8 (18 mm) apresenta os menores valores de perda de solo e matéria orgânica (15 g.m<sup>-2</sup> e 8 g.m<sup>-2</sup>). As parcelas do PQX também apresentam um comportamento incoerente, as parcelas 6 e 7, com o mm total de escorrência (cerca de 20 mm) apresentam valores com o dobro da diferença no que respeita à perda de solo e matéria orgânica. Isto pode dever-se a interferências provocadas por obstáculos que permitam a passagem da água e retenham os sedimentos ou a quantidade de solo disponível ser maior na área contributiva de cada parcela. O fato de haver grande

variabilidade na quantidade de água nas parcelas da mesma encosta, pode ser explicada pela criação de caminhos preferenciais que conduzem de forma não uniforme ao longo a encosta. A repelência ao longo da encosta pode também ser um fator a ter em atenção. As taxas específicas de erosão e perda de matéria refletem a incoerência relativa à relação escorrência versus perda de solo/matéria orgânica.

A comparação entre encostas permite observar que, entre eucaliptais queimados, o EQG apresenta maior variabilidade e valores mais elevados em escorrência (mm) e em perda de solo e matéria orgânica ( $\text{g.m}^{-2}$ ). Sugerindo que chão granítico é mais suscetível à criação de caminhos preferenciais. A comparação de eucaliptal e pinhal queimados, mostra que em termos de escorrência as parcelas apresentam variabilidade e totais semelhantes, no entanto o pinhal apresenta valores totais mais baixos de perda de solo e matéria orgânica, sugerindo que a folhagem que cobre o solo no PQX, não impede a escorrência mas diminui a sua velocidade e capacidade de transporte retendo os sedimentos do solo. Por fim, a confrontado eucaliptais queimado e não queimado é evidente a diferença no que refere a variabilidade espacial em termos de perda de solo e matéria orgânica. O ENQ embora apresenta valores mais elevados de escorrência (aproximadamente 16 mm) que o EQX (aproximadamente 13 mm), a perda de solo e matéria orgânica é praticamente a mesma nas quatro parcelas do ENQX ( $3\text{-}4 \text{ g.m}^{-2}$  e  $2\text{-}2,6 \text{ g.m}^{-2}$ ) ao contrário do EQX que apresenta maior variabilidade,  $15\text{-}80 \text{ g.m}^{-2}$  e  $8\text{-}47 \text{ g.m}^{-2}$ ) sendo que as percentagens de matéria orgânica nos sedimentos recolhidos são mais elevadas no eucaliptal não queimado. Estes resultados compravam o mesmo verificado na comparação entre pinhal e eucaliptal, ou seja, a influência da vegetação que cobre o solo protege o solo a erosão, as percentagens de matéria orgânica mais elevadas provem da manta morta que cobre o solo.



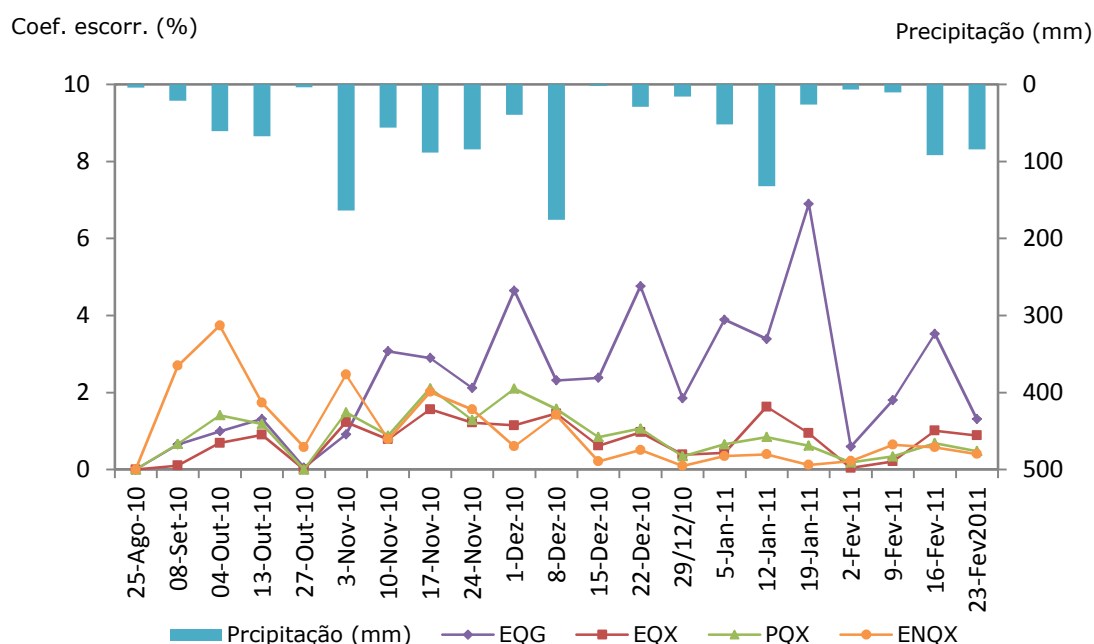
**Figura 15 – Relação entre o coeficiente de escorrência total (%) e a perda de sedimentos e matéria orgânica (g.m<sup>-2</sup>) para as 16 parcelas abertas das quatro encostas em estudo.**

### 2.3.3.2 Variabilidade temporal

- **ESCORRÊNCIA:**

Dada a grande variabilidade espacial verificada na análise anterior, e atendendo a que o objetivo deste estudo, à escala de encosta, é estudar a exportação hídrica de matéria orgânica, optou-se por se considerar a área como um total em detrimento da análise individual de cada parcela. Uma vez que grande variabilidade que ocorre entre as diferentes parcelas não parece dever-se às suas características mas sim à ocorrência de escoamento preferencial. Assim, os resultados seguintes serão apresentados para cada encosta e não para cada parcela.

À semelhança da microescala, pretende-se compreender a variabilidade na escorrência existente nas parcelas pela análise dos coeficientes de escorrência ao longo do período de monitorização (Figura 16).



**Figura 16 – Variação temporal dos coeficientes de escorrência das quatro encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização.**

No EQG é perceptível que os coeficientes de escorrência se comportam de forma diferente das outras encostas, mostrando tendência para o aumento com tempo. Este aumento é mais evidente durante os meses onde ocorrem os eventos de maior precipitação (3 Novembro a 19 Janeiro), diminuindo depois deste intervalo (Figura 16). Isto pode dever-se a saturação do solo resultado das chuvas anteriores, o que impede a infiltração da água obrigando-a a escorrer, ou a níveis de repelência mais elevados por consequência do incêndio. Estes coeficientes de escorrência elevados refletem-se nos valores mais elevados de escorrência nesta encosta, 30 mm (ver tabela 3). Para este valor contribui o facto da parcela 8 apresentar valores de coeficientes de escorrência cerca do dobro (4,2%) das parcelas 5,6,7 (Tabela 6).

No EQX, embora de uma forma mais ligeira, os coeficientes de escorrência são mais elevados no período de maiores eventos de precipitação, não parecendo haver qualquer tendência com o tempo. A homogeneidade dos coeficientes de escorrência nas 4 parcelas e os valores baixos que representam (cerca de 1%) refletem-se no total de escorrência da encosta de uma forma coerente, 14 mm (Tabela 3).

O PQX apresenta um comportamento similar ao EQX, no entanto os valores de coeficientes de escorrências ao longo do tempo são ligeiramente superiores (Figura

16) do evento de 12 de Janeiro, sendo também visível uma pequena tendência para a diminuição com o tempo e valores mais elevados no período de 3 Novembro a 12 Janeiro.

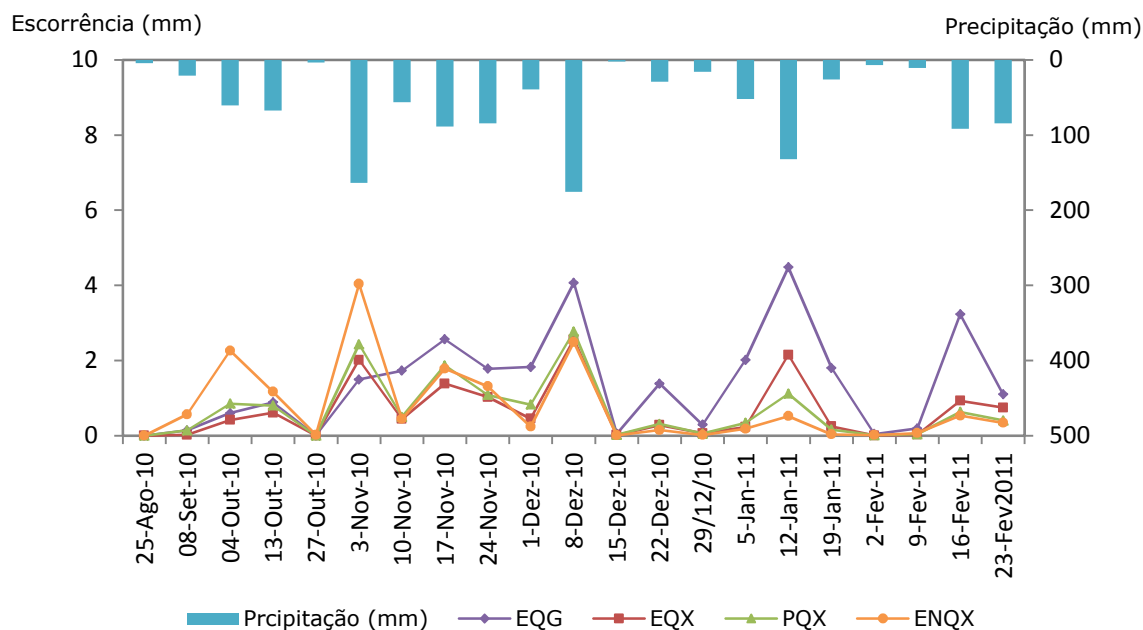
O ENQX apresenta uma evidente diminuição dos coeficientes de escorrência ao longo do tempo. Os valores elevados mais elevados que os das outras encostas no início da monitorização, sugere que o solo estaria mais repelente, devido a secura extrema do solo durante o período do Verão e que o incêndio não provocou aumento de repelência nas encostas queimadas como seria de esperar.

Comparando encostas, o confronto entre eucaliptais queimados, sugere que os coeficientes de escorrência são mais elevados ao longo do tempo, em solos graníticos e que não tendem a diminuir com o tempo. Estes resultados podem dever-se ao facto do EQG (26º) ser mais inclinado que o EQX (24º) proporcionando à escorrência maior velocidade. A comparação entre pinhal e eucaliptal (xisto) sugere a mesma tendência para os dois tipos de vegetação, em que ambos apresentam ligeira tendência para a diminuição com o tempo. A comparação entre eucaliptal queimado e não queimado, sugere que o incêndio pode não ter influência sobre a repelência não aumentando os coeficientes de escorrência logo após o fogo.

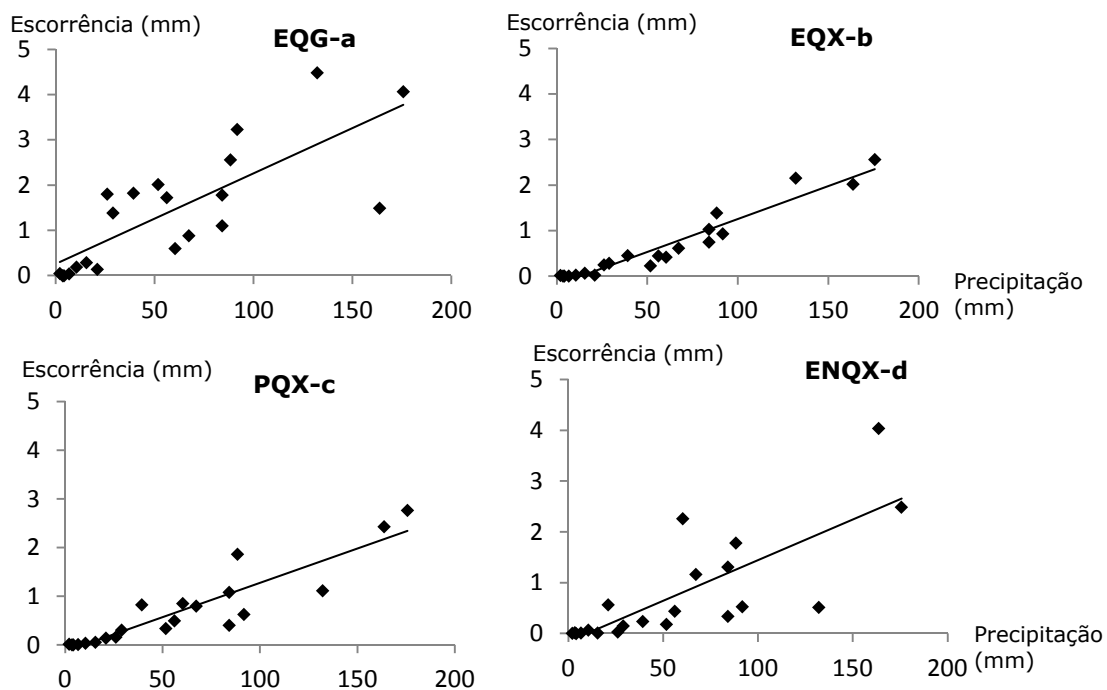
À semelhança da microescala, depois de caracterizado o comportamento dos coeficientes de escorrência, importa traduzi-lo em quantidade de água. Assim, a figura 18 representa o comportamento da escorrência (mm) das quatro encostas. Esta análise é importante uma que vez que servirá de base para a comparação e compreensão no seu efeito na perda de matéria orgânica.

De acordo com os coeficientes de escorrência, os valores totais semanais de escorrência (mm) no EQG são, em geral, os mais elevados das quatro encostas (Figura 17). Os máximos apresentados coincidem com os eventos de maior precipitação ( $r=0,78$ ) (Figura 19a). Os EQX e PQX apresentam totais de escorrência muito semelhantes (Figura 17), havendo também uma boa relação com os totais de precipitação, com  $r=0,97$  para o EQX e  $r=0,91$  para o PQX (ver figura 18 b e c). No ENQX, como esperado, os coeficientes de escorrência traduzem-se em valores (mm) mais elevados no início do período de monitorização, com tendência a diminuir no tempo, verificando-se máximos associados a eventos de maior precipitação ( $r=0,78$ )





**Figura 17- Variação temporal da escoência (mm) das quatro encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização**



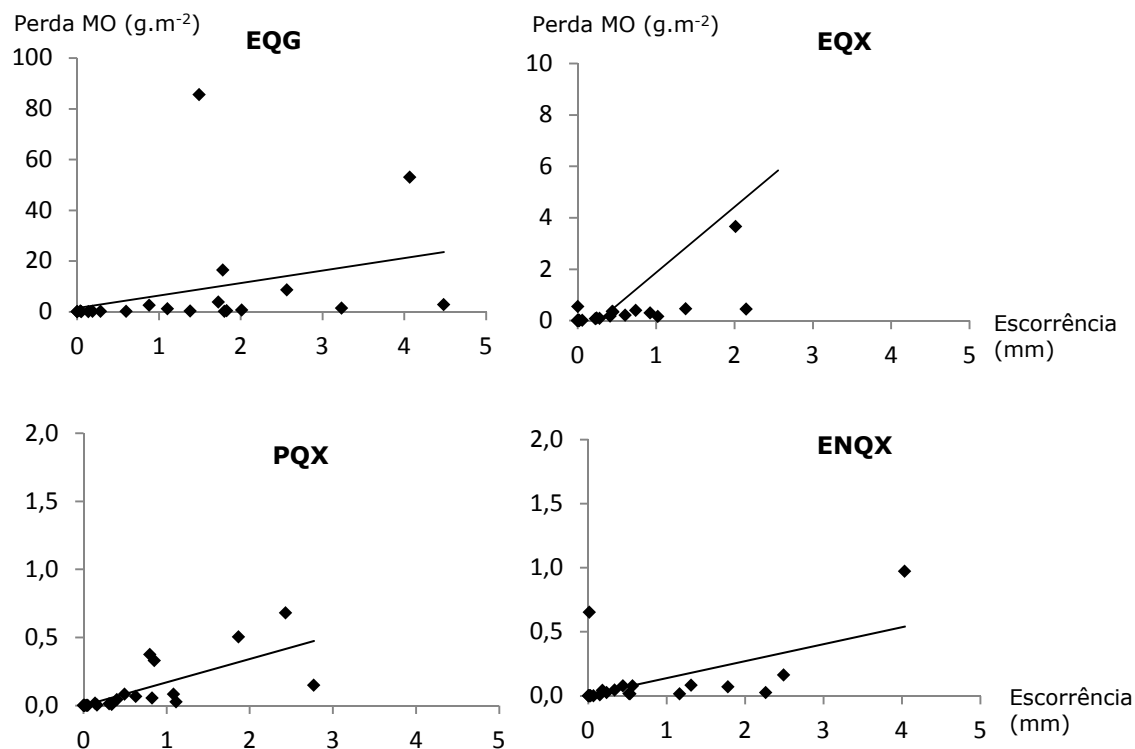
**Figura 18- Correlação entre precipitação (mm) e escoência para as quatro encostas à escala de encosta.**

A intensidade com que a chuva atinge o solo, é um fator que pode também influenciar a escorrência. As quatro encostas apresentam uma boa relação entre escorrência e  $I_{30}$  máx ( $\text{mm.h}^{-1}$ ), no entanto o EQG apresenta relação mais fraca. Isto pode dever-se à grande variabilidade espacial verificada nesta encosta. Assim, os coeficientes de correlação linear entre  $I_{30}$  e escorrência (mm) para as encostas são 0,76 (EQG), 0,92 (EQX), 0,94 (PQX) e 0,95 (ENQX).

- **PERDA DE SEDIMENTOS E MATÉRIA ORGÂNICA:**

Também à escala de encosta, a análise da variabilidade espacial revela uma boa relação entre perda de solo e matéria orgânica. Foram calculados os coeficientes de correlação linear que revelam uma relação quase perfeita entre estes dois parâmetros (0,99-1,00). Assim à semelhança da microescala apenas serão apresentados os resultados relativos as perdas de matéria orgânica e assumido como igual o comportamento da perda de solo.

Analisado o comportamento temporal da escorrência, interessa agora perceber de que forma este fator se expressa na perda de matéria orgânica. A análise visual da figura 20 sugere que eventos de grande precipitação podem estar associados a maiores perdas de matéria orgânica, no entanto não parece haver uma relação muito direta. Assim, calcularam-se os coeficientes de correlação linear entre escorrência e perda de matéria orgânica e verificou-se que de facto a relação existe mas não tão boa. Os  $r$  obtidos foram de 0,30; 0,69; 0,72 0,59 para o EQG, EQX, PQX e ENQX, respetivamente (Figura 19).



**Figura 19- Correlação linear entre escorrência (mm) e perdad de matéria orgânica (g.m<sup>-2</sup>) para as quatro encostas à escala de encosta**

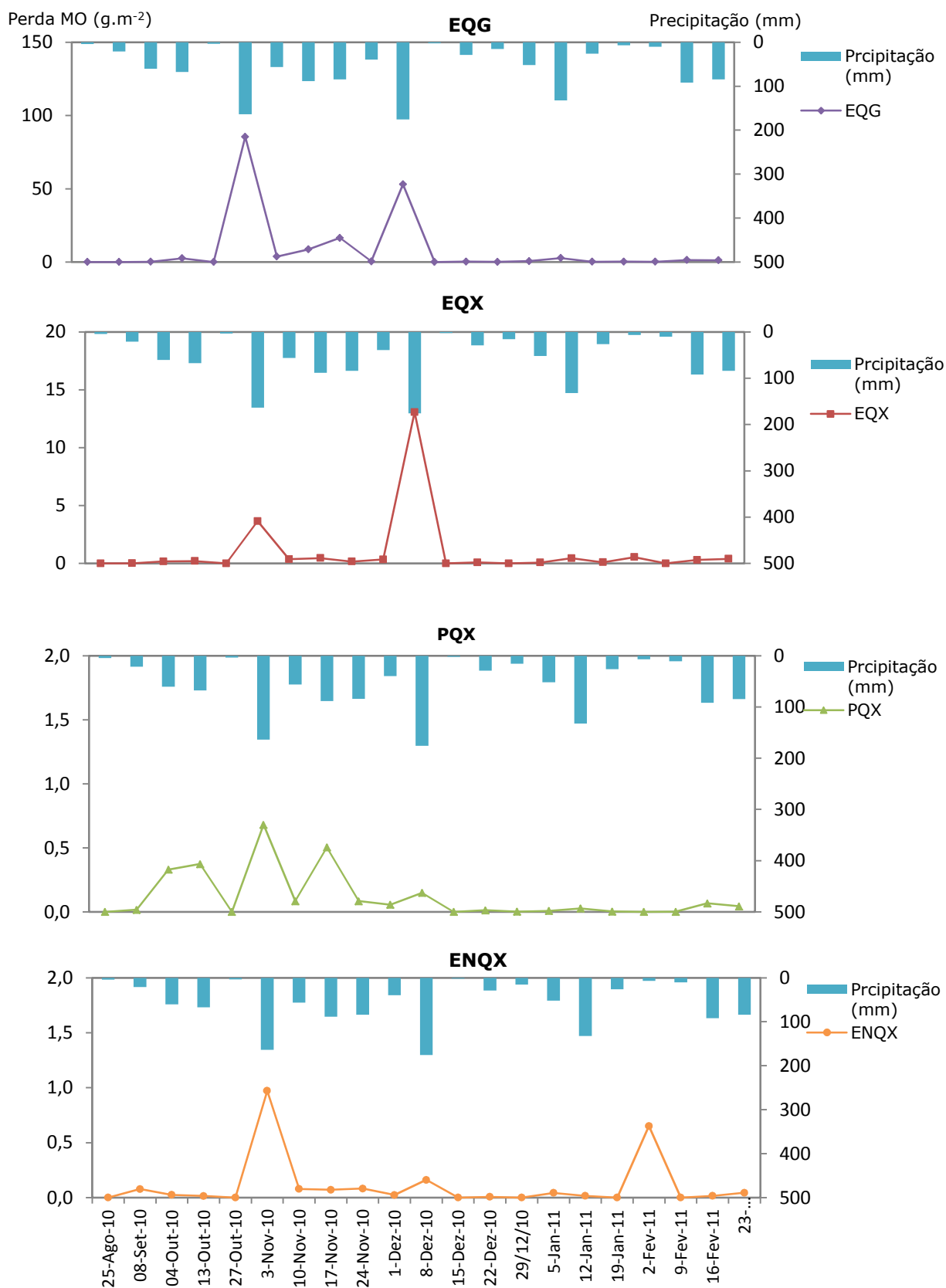
Esta baixa relação é facilmente explicada pelo facto de 2 ou 3 eventos serem os responsáveis por praticamente toda a perda de matéria orgânica. Note-se que o período de 3 Novembro a 8 Dezembro, representa praticamente toda a perda de matéria orgânica nas encostas queimadas. NO EQG, os quatro maiores eventos neste espaço de tempo representam 92% da perda de matéria orgânica total do período de monitorização. Os mesmos eventos, no EQX representam 85% da perda de matéria orgânica e no PQX cerca de 34%. Este valor indica que a nesta encosta a perda de matéria orgânica está mais distribuída pelo tempo apresentando um melhor coeficiente de correlação com a escorrência que as outras encostas queimadas. O ENQX, também apresenta a sua perda de matéria orgânica mais distribuída pelo tempo sendo que os quatro eventos referidos anteriormente representam 50% da perda total (Figura 20).

Após a análise temporal da escorrência, era espectável que o EQG apresentasse mais erosão, no entanto visto que os valores totais semanais de escorrência eram muito parecidos de encosta para encosta, era espectável que a perda de matéria orgânica

tivesse um comportamento similar. No entanto a diferença apresentada na perda de matéria orgânica para as outras encostas é muito superior à apresentada na escorrência. O mesmo se verifica em relação ao EQX que apresentava totais semanais de escorrência muito similares aos totais do PQX, no entanto a perda de matéria orgânica é consideravelmente superior no eucaliptal. Enquanto os máximos atingidos para as quatro encostas na escorrência variavam entre 3-4 mm, na perda de matéria orgânica os valores são muito mais expressivos. No EQG o máximo atingido (cerca 90 g.m<sup>-2</sup>) é cerca de 6 vezes maior que o máximo atingido do EQX (15 g.m<sup>-2</sup>), que por sua vez é cerca de 20 vezes superior que o máximo atingido no PQX (cerca de 0,7 g.m<sup>-2</sup>) (Figura 20). No eucaliptal não queimado também se verificam valores baixos de perda de matéria orgânica, na mesma ordem dos verificados no PQX.

Esta discrepância entre escorrência e perda de matéria orgânica pode ter varias explicações. De fato, a inclinação mais acentuada do EQG pode permitir à escorrência maior capacidade de transporte de matéria orgânica, o tipo e a quantidade de sedimentos disponíveis pode também contribuir para os valores mais elevados. O facto do incêndio parecer ter sido menos severo no PQX, permitindo que o solo continuasse coberto por folhagem dos pinheiros que permanecem na encosta, confere uma proteção ao solo., Assim este *mulch* natural, não diminui a quantidade de escorrência mas diminui a sua velocidade e consequente capacidade de transporte, atuando ainda como barreira para a erosão, daí os valores mais baixos de perda de matéria orgânica por área, semelhantes aos apresentados pela encosta não queimada que, embora com um manta morta a cobrir o solo diferente, também apresenta o solo protegido da erosão.

Assim, a comparação entre encostas sugere que solos graníticos são mais suscetíveis à erosão e perda de matéria orgânica e que os pinhais devido a cobertura do solo impedem a perda de solo e matéria orgânica. Ao compararmos encostas ardida com não ardida verifica-se que embora o incêndio não tenha grande impacto na escorrência é responsável pelo aumento da erosão.



**Figura 20 - Variação temporal da perda de matéria orgânica das quatro encostas e os valores de precipitação semanais durante o período de monitorização.**

É perceptível que de facto os maiores eventos de escorrência estão associados aos eventos de maior perda de matéria orgânica. No entanto outros fatores podem estar relacionados como o  $I_{30}$  máx medido e a contração. No geral existe uma boa relação entre a  $I_{30}$  e perda de matéria orgânica, sugerindo que a força com que a precipitação atinge o solo é determinante na exportação de matéria orgânica, à exceção do eucaliptal não queimado que apresenta relação mais baixa, possivelmente devido a manta morta que protege o solo. Assim, os coef. de correlação linear são 0,72; 0,53; 0,74 e 0,40 para o EQG, EQX, PQX e ENQX, respetivamente.

A concentração expressa a massa de matéria orgânica transportada por um milímetro de escorrência. Desta forma é facilitada a comparação entre as parcelas e entre encostas, eliminando fatores variáveis como a quantidade de escorrência.

No EQG verifica-se que existe um fator diluição, ou seja a mesma quantidade de escorrência transporta cada vez menos matéria orgânica ao longo do tempo. O máximo de concentração foi observado no dia 3 Novembro, a segundo maior evento de precipitação registado no período de monitorização. Até à data os valores de concentração foram praticamente nulos, o que coincide com a perda de matéria orgânica por área, da mesma forma que as datas de maior concentração coincidem com as datas de maior perda em massa (ver Figura 21), assim verifica-se que os valores de maior concentração são concordantes com os de maior perda de matéria orgânica, havendo uma boa relação entre estes dois fatores ( $r=0,93$ ) (ver Figura 22). No EQX, não existe tendência para a diminuição da concentração com o tempo, no entanto parece existir também uma boa relação entre a concentração e a perda de matéria orgânica ( $r=0,94$ ) ou seja maiores concentrações refletem-se a maiores perdas. O máximo nesta encosta só é atingido no evento de maior precipitação (8 Dezembro), isto pode acontecer por acumulação de sedimentos que apenas conseguiram ser transportados naquele evento (maior intensidade, maior quantidade de água, maior velocidade, maior capacidade de transporte). O PQX apresenta as maiores concentrações nas semanas após o início da monitorização, verificando-se uma tendência para a diminuição com o tempo, ou seja existe nesta encosta o fator diluição. À semelhança das outras encostas, maior concentração reflete-se em maior perda de matéria orgânica ( $r=0,80$ ). No eucaliptal não queimado, a concentração está distribuída no tempo, não se verificando nem grandes máximos nem oscilações muito abruptas, ao contrário do que se passa na perda de matéria orgânica. No entanto existe uma boa relação ( $r=0,71$ ) embora mais fraca que a das outras encostas. Não se verifica qualquer tendência no comportamento da concentração.

A comparação de encostas sugere que em solos graníticos a escorrência apresenta maior capacidade de transporte, uma vez que o EQG apresenta valores de concentração mais elevados que o EQX. Esta encosta apresenta também um fator diluição com o tempo não verificado no EQX. A comparação entre tipo de vegetação indica concentrações muito mais baixas no pinhal, sugerido que de facto, a folhagem pode não reduzir a quantidade de escorrência mas diminui a sua velocidade e retém os sedimentos, diminuindo desta forma a concentração e a consequente exportação de matéria orgânica. Comparar solos queimado e não queimado indica que o incêndio influencia a concentração, aumentando a erosão. No eucaliptal não ardido verificação que a concentração esta distribuída de uma forma uniforme pelo tempo, enquanto que no eucaliptal ardido, grandes eventos resultam em grande perda de matéria orgânica, sendo mais evidente o desnível provocado na erosão (Figura 21).

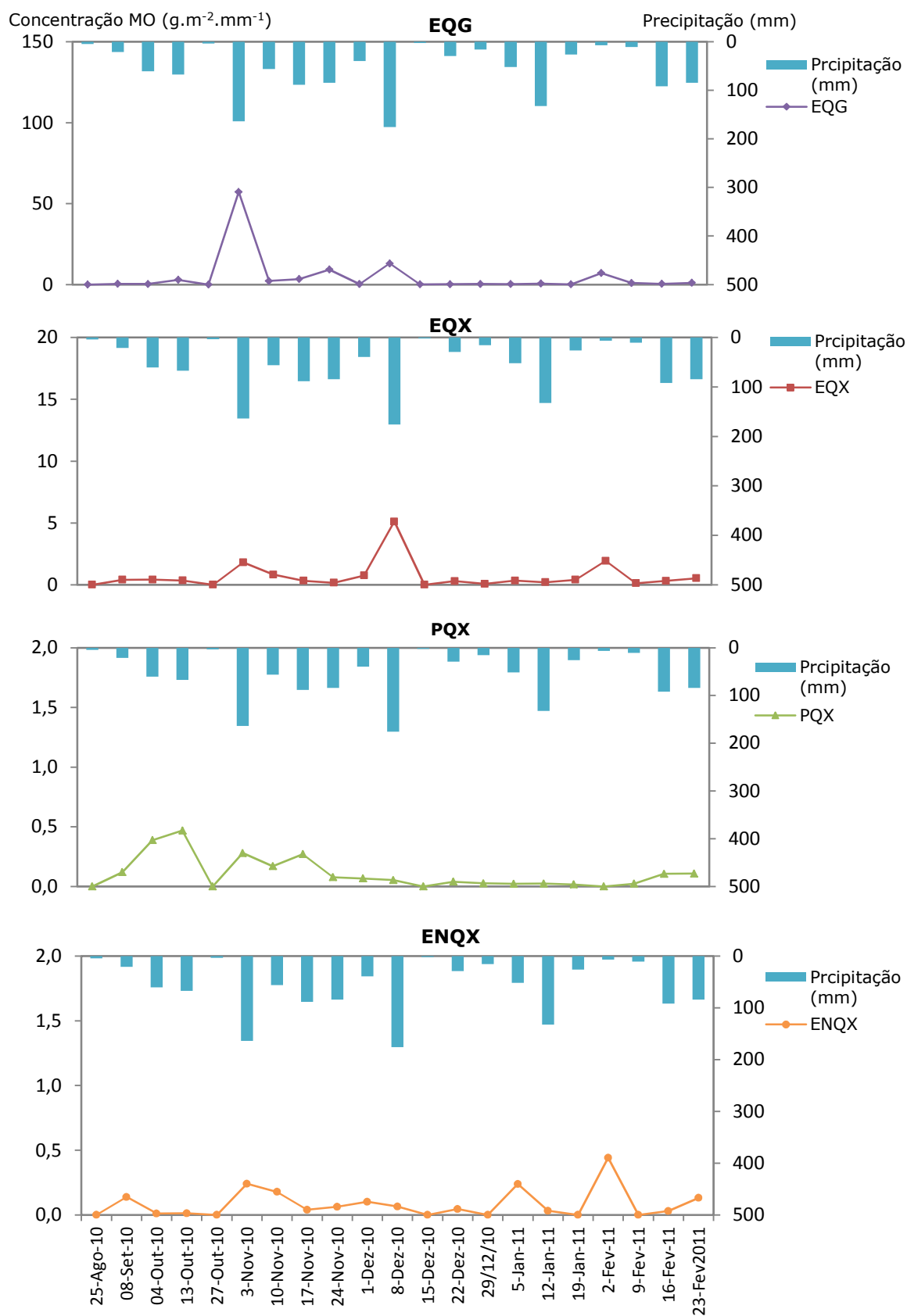
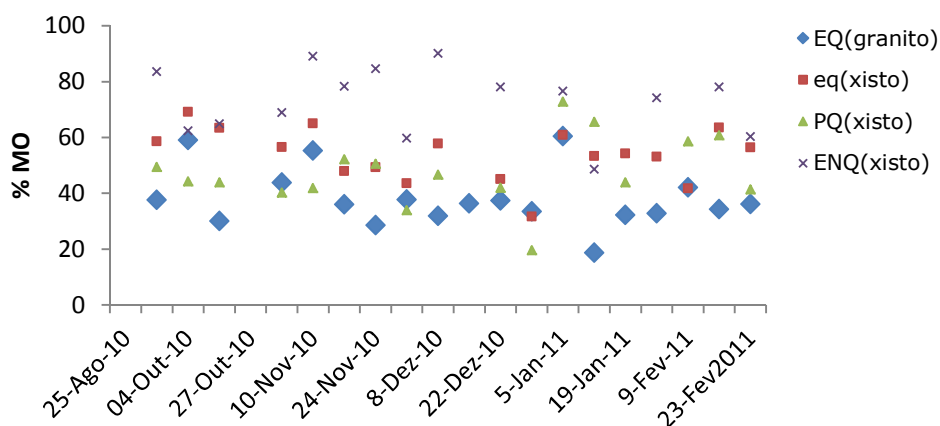


Figura 21- Variação temporal da concentração de matéria orgânica (g.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup>) nas 4 encostas.



Após se analisar o comportamento da perda de matéria orgânica em massa e se perceber que a quantidade exportada é influenciada pela escorrência, interessa perceber se em termos percentuais a exportação de matéria orgânica tende a diminuir. De facto, verifica-se que embora em termos totais ( $\text{g.m}^{-2}$ ) exista grande variabilidade entre parcelas e encostas, o mesmo não acontece em percentagens (Figura 22). Isto é, a quantidade de matéria orgânica presente no solo erodido mantém-se constante com o tempo, dentro do intervalo 30-80%) nas quatro encostas (valores médios). Admite-se que continua a haver uma fonte de matéria orgânica, possivelmente as cinzas presentes no solo, uma vez que estas percentagens são muitas vezes, superiores às encontradas nos solos destas encostas (Tabela 2).



**Figura 22 - Percentagem média de matéria orgânica ao longo do tempo para as 4 encostas no período de monitorização.**

## **2.4 Discussão**

O presente estudo teve com objetivo principal compreender como se processa a exportação de matéria orgânica após um incêndio florestal. Daí que fosse essencial caracterizar o solo em termos de densidade aparente e textura, bem como as cinzas, no teor de matéria orgânica. Inerentes a este processo de exportação estão também a escorrência e a erosão.

- O solo

Os resultados obtidos na Ermida para o teor de matéria orgânica no solo do eucaliptal não ardido encontram-se dentro dos valores encontrados para zonas semelhantes em Portugal Continental por Faria (2008) e Stoof et al (2010).

Segundo DeBano et al (1998) e Neary et al (1999) a matéria orgânica é destruída na totalidade a temperaturas acima dos 450°C, no entanto a temperaturas inferiores até 300°C, podem ocorrer perdas significativas como relatam Stoof et al (2010) e Fernández et al (1997). Efetivamente, a comparação entre encostas ardidas e não ardida (EQX vs ENQX), mostra um comportamento contrário, ou seja os solos ardidos apresentam maior percentagem de matéria orgânica (29%) que o solo não ardido (19%). Matrix-solera et al (1996) e Giovannini e Lucchesi (1997) afirmam que o fogo não reduz necessariamente de forma significativa o conteúdo de matéria orgânica do solo, sendo que os fogos de baixas intensidade podem mesmo aumentar o conteúdo de matéria orgânica.

As encostas em estudo apresentam na camada superficial do solo, até 5 cm de profundidade, teores de matéria orgânica que chegam a atingir os 29% no EQG. Estes valores são elevados quando comparados com Prats (2011) que descreve 12% de matéria orgânica no solo de um eucaliptal. Malvar (2007), na localidade de Açores (Aveiro), Ferreira et al (2000) e Stoof et al (2010) encontram valores igualmente baixos (12%).

Na Ermida, o pinhal apresenta valores de matéria orgânica no solo menores que o eucaliptal (PQX vs EQX). Prats (2011) descreve a mesma situação no Colmeal (Centro de Portugal), no entanto, na serra da Lousã (centro de Portugal), Faria (2008) refere teores de matéria orgânica duas vezes superiores no pinhal queimado que no eucaliptal queimado.

- Hidrologia

Após um incêndio florestal, o solo fica sujeito a condições adversas, podendo ocorrer a diminuição da sua porosidade, devido ao impacto direto das gotas resultando em maiores fluxos de escorrência. O facto do solo ficar sem a proteção da vegetação, reduz ainda a sua capacidade de retenção e armazenamento de água, entre outras (Martin e Moody, 2001; Meyer, 2002), pelo que o bom funcionamento do sistema hidrológico pode ficar afetado (Neary et al., 1999).

À microescala, é possível comparar os resultados obtidos no EQX com os descritos por Malvar (2007) e Prats (2007), na Região centro de Portugal, na localidade de Açores em eucaliptais. A metodologia usada por Malvar foi a mesma utilizada neste estudo, por outro lado Prats recorre a dados de simulação de chuvas. Embora os dados da Ermida sejam relativos apenas aos primeiros seis meses verificou-se que os coeficientes de escorrência, mínimo e máximo, no EQX (35%/36%) são superiores ao relatados por Malvar (2007): 15%/29% e menores que os relatados por Prats (2007): 47%/55%), possivelmente devido às elevadas intensidades usadas na simulação. Em termos totais de escorrência, Malvar descreve 162/303mm, valores igualmente inferiores aos encontrados no EQX (319/432 mm).

No entanto, à escala de encosta durante os seis primeiros meses de monitorização, o EQX apresenta um coeficiente de escorrência total ligeiramente inferior (1,1%) ao coeficiente de escorrência do ENQX (1,3 %). A análise temporal dos coeficientes de escorrência a esta escala, evidenciam que logo após a ocorrência do incêndio, os coeficientes de escorrência são mais elevados na encosta não ardida, contrariando a ideia que só o incêndio incrementa os coeficientes de escorrência. O facto do solo se encontrar seco, uma vez que estas primeiras semanas de monitorização se referem ao Verão, pode levar a estes valores mais altos.

À escala de encosta, para o EQX, é possível a comparação com Ferreira (2000), no Caramulo, que relata um coeficiente de escorrência de 7,8% (não se refere ao primeiro ano após o incêndio), cerca de 7 vezes superior ao registado na Ermida. Em Cantanhede, num eucaliptal não queimado, foram registados coeficientes de escorrência de 0,4%/1,3% e totais de escorrência de 1,7/5,1 mm (Malvar, 2007), valores inferiores aos encontrados no ENQX da Ermida.

Este estudo permite verificar que existem claras diferenças nos valores totais médios de escorrência e respetivos coeficientes quando nos referimos a escalas distintas. Esta diferença entre escalas foi constatada também por Vieira (2010) na vila do Colmeal,

numa área ardida igualmente povoada por eucaliptos e pinheiros. A autora encontra variação nos coeficientes de escorrência para a escala de encosta e microescala de 1-5% e 15-45%, respetivamente. Vieira (2010), com base em Shakesby e Doerr (2006), avança com duas possíveis causas para estas variações de escala, o facto da área que contribui para a escorrência de cada parcela (à escala de encosta) ser menor que a estimada para o estudo (largura da parcela x comprimento da encosta) e/ou a heterogeneidade espacial na superfície do solo e as suas propriedades que podem aumentar as oportunidades de infiltração da escorrência (macroporos, zonas de maior capacidade de infiltração). Outra explicação associada à situação referida anteriormente, pode ser o tempo de contacto da água com o solo, que à microescala é muito menor e consequentemente é menor o tempo disponível para infiltração.

Ferreira et al (2008) constata que a variabilidade espacial e temporal pode contribuir para a variabilidade das taxas de infiltração reduzindo os coeficientes de escorrência com o aumento da área da encosta. Este resultado acaba por ser contraditório com o que foi obtido neste estudo. À escala de encosta verificaram-se coeficientes de escorrência maiores para parcelas mais extensas. O mesmo é reportado por Fernandes et al (2010), que justificam este comportamento com o aumento da humidade do solo e consequente aumento da escorrência por saturação, entre outros.

- Exportação do solo e da sua matéria orgânica

Atendendo aos resultados, pode afirmar-se que a resposta do solo à erosão é mais complexa que a resposta hidrológica. À semelhança da escorrência, a comparação com outros casos de estudo no que respeita à erosão não é fácil, dada a quantidade de variáveis envolvidas.

À microescala, os autores referidos anteriormente (Malvar, 2007 e Prats, 2007), registaram perdas de solo entre 15-82g.m<sup>-2</sup> e 5-33 g.m<sup>-2</sup> (eucaliptal em xisto), valores muito inferiores aos encontrados no EQX (167-385g.m<sup>-2</sup>).

À escala de encosta, a diferença existente entre a dimensão das áreas das parcelas deste estudo e as áreas de outros estudos condiciona a sua comparação. No entanto, num pinhal do Caramulo, Ferreira (1996) regista 200 g.m<sup>-2</sup>, valores superiores aos registados no pinhal da Ermida (6 g.m<sup>-2</sup>).

Em relação à perda de matéria orgânica, em massa por área, a escassez de estudos dificulta a comparação de resultados. No entanto, analisando os dados obtidos por Fernández et al. (2007) num pinhal ardido, com clima idêntico à Ermida mas utilizando um método diferente (*sediment fence*) e parcelas a uma escala muito

superior ao PQX, os autores registaram perdas de matéria orgânica de  $2,31 \text{ g.m}^{-2}$ , valores semelhantes aos encontrados à escala de encosta no PQX. Por outro lado, no Caramulo, Thomas et al (1999) encontra valores percentuais de matéria orgânica nos sedimentos erodidos de aproximadamente 35%, tanto no Pinhal como no Eucaliptal, valores inferiores aos obtidos na Ermida (cerca de 50%).

De facto, como na escorrência, a diferença de escalas é uma realidade. Ainda no Colmeal, no primeiro ano após o incêndio, encontram-se valores para a erosão de cerca de  $32 \text{ g.m}^{-2}$  (média) nas micro-parcelas e  $1,9 \text{ g.m}^{-2}$  (média) à escala de encosta. Este comportamento é seguido por todas as encostas à exceção do EQG, que apresenta maiores perdas de solo à escala de encosta que à microescala. Embora o coeficiente de escorrência seja 11 vezes maior à microescala, a sua erosão média total/ $\text{m}^2$  é cerca de 8 vezes menor. Este comportamento pode dever-se ao contributo de cada micro parcela para o valor médio da encosta.

Ao analisar cada micro parcela do EQG, verifica-se que a parcela 3 apresenta totais de escorrência 5 vezes superior à parcela 2 e 2 vezes superior à parcela 1. Isto significa que as duas parcelas que praticamente não apresentam escorrência, contribuindo para que o valor médio à microescala seja tão baixo. Por outro lado, à escala de encosta, a parcela 8 apresenta valores de escorrência total (1052 mm) muito superiores ao das parcelas 5 (281 mm), 6 (345 mm) e 7 (264 mm).

Atendendo a que escorrência se relaciona bem com a erosão, os valores relativos às parcelas em questão são coerentes (maior escorrência, maior erosão). Isto pode ocorrer devido a fluxos preferenciais para a parcela 8 ou à existência de macroporos junto das parcelas 1 e 2. Outro fator que pode contribuir para esta realidade é o facto de terem sido assumidas inclinações próximas para as duas escalas (falta de informação), o que de facto não era verdade para as parcelas 1 e 2. A parcela 3 apresentava uma inclinação mais próxima das parcelas à escala de encosta, daí a sua erosão se aproximar mais da apresentada nas parcelas 5, 6 e 7. Para esta comparação ser mais fiável era essencial ter em conta as inclinações reais das micro-parcelas.

As três encostas em estudo, parcialmente ardidas, apresentam um elevado teor em matéria orgânica, superior ao encontrado na camada superficial do solo. Estes resultados sugerem que o incêndio não atingiu temperaturas que permitissem a combustão completa da biomassa florestal, explicando desta forma, o teor elevado de matéria orgânica nos sedimentos exportados por escorrência superficial. É notório ainda que, às duas escalas o teor de matéria orgânica não difere muito, representando

cerca 50% do total de sedimentos, resultados semelhantes aos obtidos por Malvar (2007) nas micro-parcelas de Açores 1. Thomas et al (1999) menciona valores embora mais baixos, para parcelas fechadas (caramulo) de aproximadamente 32% para eucaliptais e 28% para pinhais (valores médios para 18 meses de monitorização). Ainda Prats (2011), no seu estudo encontra percentagens idênticas às referidas para a Ermida, 53% em eucaliptal e 50% em pinhal.

Verifica-se ainda que a percentagem de matéria orgânica não decresce ao longo do tempo como seria de esperar, isto pode dever-se ao facto de não ter ocorrido perda total de cinza nos 6 meses de monitorização. De notar ainda que quando ocorrem os maiores picos de erosão o teor de matéria orgânica é mais baixo. Isto acontece porque estes picos estão associados a sedimentos maiores e mais pesados, que apresentam menor afinidade com a matéria orgânica.

Comparando encostas é evidente que o ENQX não apresenta taxas de erosão significativas relativamente às áreas ardidas. Isto acontece devido à existência da manta morta que protege o solo da erosão, o que explica o facto de esta encosta apresentar teores de matéria orgânica nos sedimentos mais elevada (72% comparativamente com os 50% verificados nas outras encostas). No entanto, o PQX também apresenta valores baixos de erosão, embora o seu coeficiente de escorrência (às duas escalas) não se afaste muito das restantes encostas. Isto acontece devido também à folhagem presente na superfície do solo, consequência da menor severidade do incêndio nesta área, conferindo, analogamente à área não ardida, uma proteção do solo contra a erosão.

Comparando eucaliptais ardidos entre si, à microescala, o EQX apresenta maiores coeficientes de escorrência, enquanto que à escala de encosta os coeficientes são mais altos no EQG. O mesmo comportamento é verificado na erosão e perda de matéria orgânica, como já referido anteriormente, não sendo assim possível assumir inteiramente a influência da geologia na erosão. Por outro lado, comparando solos ardidos sobre a mesma rocha (xisto), o EQX e o PQX apresentam, à microescala, uma diferença de 10% nos coeficientes de escorrência, sendo mais elevado na primeira encosta e a sua perda de sedimentos total (média) é 10 vezes maior. À escala de encosta, embora não se observe diferença nos coeficientes de escorrência, a erosão é cerca de 6 vezes maior no eucaliptal. Embora se tenha verificado que a severidade do fogo tenha sido menor no pinhal, os resultados apontam para uma importância na erosão da vegetação antecedente ao incêndio.

Por fim, verifica-se que em todas as encostas, o valor da percentagem de matéria orgânica se mantém constante com o tempo, embora mais elevado na encosta não ardida e no pinhal.

## **2.5 Conclusões**

A monitorização desta área de estudo permitiu estudar a resposta hidrológica e erosiva, bem como a exportação hídrica da matéria orgânica, de áreas ardidas em povoamentos de eucaliptos e pinheiros, ao longo do espaço e do tempo de uma forma contínua. A variabilidade de resultados realça que a resposta do solo à erosão é mais complexa e apresenta maior variação entre as encostas.

As principais conclusões retiradas são:

- Os solos de todas as encostas em estudo são bastante ricos em matéria orgânica, sendo que o incêndio pode ter incrementado este teor devido à mistura de cinzas de biomassa florestal parcialmente queimada.

À microescala:

- Foram observados coeficientes de escorrência mais elevados no EQX que no EQG. Os parâmetros de escorrência, perda de solo e matéria orgânica também apresentam valores superiores no EQX. Embora as diferenças sejam pouco significativas em termos de escorrência, as perdas de solo e matéria orgânica são acentuadas.
- A menor taxa escorrência no EQG pode dever-se à menor inclinação das parcelas 1 e 2 levando a que esta tenha menor capacidade de transporte de sedimentos de solo, e eventualmente devido à existência de macroporos junto destas parcelas.
- No EQG valores de escorrência total mais elevados traduzem-se em maior perdas de solo e matéria orgânica, enquanto no EQX a mesma quantidade total de escorrência evidencia perdas de solo e matéria orgânica muito distintas, mostrando que esta encosta está mais exposta à erosão. Os resultados mostram que os solos graníticos apresentam maior variabilidade espacial e sugerem que os solos xistosos apresentam maior risco de erosão, à microescala.
- O EQX apresenta valores de coeficientes e totais de escorrência superiores ao PQX. As perdas de solo e matéria orgânica, em massa, são muito inferiores no

PQX. Estes resultados podem dever-se à folhagem ainda presente no solo devido à menor severidade do incêndio nesta encosta. Verifica-se que esta folhagem reduz a escorrência, mas a sua principal vantagem é o facto de servir de barreira protegendo o solo da erosão. Ainda que as perdas de matéria orgânica, em massa, sejam maiores no EQX, em termos de percentagem verifica-se que o PQX apresenta valores mais elevados. Assim, verifica-se que os eucaliptais são mais sensíveis à erosão que os pinhais, à microescala.

À escala de encosta:

- O EQG e o EQX apresentam valores muito baixos e próximos de coeficientes e totais de escorrência, no entanto, as perdas de solo e matéria orgânica, em massa, são muito mais elevadas no EQG. Estes resultados podem dever-se ao facto do solo estar mais disponível a ser transportado e apresentar menos obstáculos ou pela grande variabilidade apresentada nesta encosta, por consequência de fluxos preferenciais. Constata-se então que, à escala de encosta os solos graníticos apresentam maior variabilidade espacial e maior risco de erosão.
- A comparação entre EQX e PQX realça a importância da folhagem que cobre o solo, na medida em que reduz significativamente a erosão e a exportação de matéria orgânica. Também a esta escala se verifica maior risco de erosão no eucaliptal.
- A comparação entre eucaliptal queimado e não queimado, com o mesmo tipo de rocha (xisto), mostra que nas primeiras semanas após o incêndio os coeficientes de escorrência são mais elevados no eucaliptal não queimado, sugerindo que os solos não queimados, em períodos de secura (Verão), podem aumentar a repelência e assim, incrementar os coeficientes de escorrência. Os valores de escorrência ao longo do tempo não se afastam muito, no entanto é visível que a perda de solo e matéria orgânica é praticamente inexistente no eucaliptal não queimado. Este resultado pode dever-se à espessa camada de manta morta que protege o solo do ENQX, e levar também ao aumento das percentagens de matéria orgânica nesta encosta. Assim, conclui-se que os incêndios são responsáveis pelo aumento da erosão, devido à desproteção do solo que provocam.



Comparação de escalas:

- As encostas estudadas da Ermida apresentam padrões de escorrência diferentes entre escalas. À microescala os coeficientes de escorrência são muito maiores que à escala de encosta. Tendo em conta que à escala de encosta as áreas são estimadas, estas poderão influenciar os resultados na medida em que a sua contribuição para a escorrência pode na realidade ser menor que o calculado. A heterogeneidade do terreno bem como as suas propriedades e tempo de exposição criam oportunidades de infiltração, surgindo também como fatores que promovem essa diferença.
- A erosão e a exportação de matéria orgânica apresentam, como referido, um comportamento mais variável no espaço e no tempo, sendo também claras as diferenças entre escalas. À exceção do EQ(granito), que apresenta um comportamento diferente, à micro escala as taxas de erosão e perda de matéria orgânica são mais elevadas que à escala de encosta. Isto acontece devido à grande variabilidade que ocorre entre as parcelas que contribuem para a determinação da erosão, por consequência da ocorrência de fluxos preferenciais de escorrência e características do terreno.

Conclui-se ainda que a exportação de matéria orgânica é elevada e não tende a diminuir com o tempo, o que realça a importância de estudos nesta área devido a problemáticas que lhe estão associadas, como a degradação dos solos e contaminação de aquíferos.



## **CAPÍTULO 3 – Considerações finais e futuras**

Esta dissertação tinha como objetivos principais estudar os efeitos dos incêndios florestais na exportação de matéria orgânica por escorrência superficial em diferentes solos florestais, na região centro de Portugal, através da comparação de áreas com diferentes cobertos (Pinhal vs Eucaliptal) e diferentes geologias (xisto vs granito). Para tal, foram caracterizados os solos e quantificados os parâmetros de escorrência, erosão e perdas de matéria orgânicas em diferentes encostas efetuando a análise a duas escalas (microescala e escala de encosta).

Ao nível da erosão e exportação de matéria orgânica os resultados das encostas têm uma maior variação no espaço e no tempo que os resultados de escorrência. À microescala, as taxas de erosão e perda de matéria orgânica, à exceção do EQG que apresenta um comportamento diferente, são mais elevadas que à escala de encosta e mais acentuadas que o reportado por outros autores.

Analisando comparativamente as encostas, verifica-se que a encosta não queimada, apesar das taxas de escorrência similares às outras encostas, praticamente não apresenta erosão. Este facto deve-se à densidade da manta morta morta que cobre o solo, protegendo-o da erosão. O mesmo ocorre no PQX que devido à baixa severidade do incêndio nesse local, também apresenta folhagem a proteger o solo. Por outro lado, à escala de encosta, o EQG apresenta maiores taxas de erosão que o EQX sugerindo influência do tipo de rocha no processo erosivo. Nesse seguimento, a comparação entre o PQX (menos erosão) e o EQX (mais erosão) com o mesmo tipo de rocha, aponta a influência do tipo de vegetação pré-fogo na erosão.

Conclui-se ainda que a exportação de matéria orgânica é elevada e não tende a diminuir com o tempo, o que realça a importância de estudos nesta área devido a problemáticas que lhe estão associadas, como a degradação dos solos e contaminação de aquíferos.

Realça-se o facto da dificuldade da comparação direta com outros casos de estudo devido à diversidade de escalas e metodologias utilizadas, tipos de solo e vegetação, bem como fatores não controláveis como a precipitação e a sua intensidade.

Várias sugestões podem ser feitas para melhor se compreender todo o processo que envolve a exportação da matéria orgânica, nomeadamente:

- O estudo da repelência para se perceber a variabilidade das encostas e até que ponto esta é responsável por escoamentos preferenciais e pelas taxas de escorrência.
- Fazer o estudo dos valores de humidade do solo e perceber a sua relação com a repelência e como influenciam a escorrência.
- Analisar dados de pH e condutividade dos solos para se perceber os efeitos do fogo a nível da estrutura do solo.
- Comparar os resultados de erosão com os obtidos pelo método de "*sediment fence*", para se perceber o erro associado aos métodos.
- Efetuar a descrição do coberto vegetal ao longo do período de monitorização, de forma a compreender a influência da vegetação em regeneração na escorrência e erosão, e analisar o desaparecimento das cinzas ao longo do tempo.
- A análise da matéria orgânica dos solos de todos os transectos permitiria perceber se o stock de matéria orgânica se mantém ou diminui com o tempo.
- Ao nível de trabalho de campo, dada a grande variabilidade apresentada em algumas encostas, seria essencial o uso de mais parcelas de forma a obter resultados mais representativos da encosta. O uso de tanques com maior capacidade permitiria menos perdas de escorrência e diminuiria o erro associado aos cálculos.
- Ainda relativamente ao trabalho de campo, a forma de recolher amostras deveria ser o mais representativa possível, ou seja, o volume recolhido deveria ser maior tendo em conta o volume dos tanques.

Dadas as condições logísticas, algumas das sugestões poderiam ser difíceis de implementar, no entanto iriam contribuir para o melhor conhecimento dos efeitos da erosão. Atendendo à problemática que envolve este estudo, devido à degradação dos solos e à possível contaminação de aquíferos que pode por em causa a sustentabilidade dos ecossistemas, sugere-se a continuação de desenvolvimento de trabalhos na área, no sentido de melhor compreender estes impactos e se poderem criar e implementar medidas de prevenção e mitigação dos fenómenos erosivos decorrentes do incêndio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendros, G., Polo, A.; Ibáñez, J.J. y Lobo, M.C. (1984): Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. I. Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. *Révue d'Ecologie et Biologie du Sol*, 8, pp 79-86.
- ARH (2002): Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, Anexo 1 – Análise Biofísica, pp 95-101.
- Botelho da Costa, J.V. (2004): Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 7ª edição pp 123.
- Catry, F., Bugalho, M. e Silva, J. (2007): Recuperação da floresta após o fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra. CEABN-ISA, Lisboa, pp 36.
- Certini, G. (2005): Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143, pp 1–10.
- Cerdá, A., Doerr, S.H. (2008): *The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period*. *Catena* 74, pp 256–263.
- Coelho C.O.A., Ferreira A.J.D., Boulet A.K. e Keizer J.J. (2004): Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology* 37, pp 233-240.
- DeBano, L.F. (2000): The role of fire and soil heating on water repellence in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology* 231, pp 195–206.
- Debano, L. F., Neary D. G. e Ffolliot, P. F. (1998): *Fire's Effects on Ecosystems*. John Wiley and Sons, New York, pp 333.
- DUDF (2010): Relatório anual de áreas ardidas e ocorrências 2010. Autoridade Florestal Nacional.
- DNGF (2010): 5º Inventário Florestal Nacional. Autoridade Florestal.
- Faria, S. - Repelência à água em Solos Florestais queimados e não queimados na região Centro. Aveiro: 2008. Dissertação apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.
- Fernandes, I., Nunes, J., Ferreira, R., Pereira, L., Vieira, D., Keizer, J. (2010): Escorrência e erosão a múltiplas escalas espaciais numa área florestal mista recentemente ardida no centro de Portugal, *territorium*, 17, pp 135-144.

Fernández, C., Vega, J. A., Founturbel, T., Pérez-Gorostiga, P., Jiménez, E., Madrigal, J. (2007): Effects of wildfires, salvage logging and slash treatments on soil degradation, *Land Degradation & Development*, 18, pp 591–607.

Fernández, C., Vega, J. A., Gras J. M., Founturbel, T., Cuiñas, P., Dambrine, E. Alonso, M. (2004): Soil erosion after *Eucalyptus globulus* clearcutting: differences between logging slash disposal treatments. *Forest Ecology and Management* 195 pp 85–95.

Fernández, I., Cabaneiro, A., Carballas, T. (1997): Organic matter changes immediately after a wildfire in an atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating, *Soil Biology and Biochemistry*, 29, pp 1–11.

Ferreira, A. J. D. (1996): Soil erosion in a burned plot: Evaluation based in single event records. Report forest fire risk and management.

Ferreira, A. J. D., Coelho, C., Walsh, R., Shakesby, R., Ceballosa, A., Doerr, S. (2000): Hydrological implications of soil water-repellency in *Eucalyptus globulus* forests, north-central Portugal, *Journal of Hydrology*, 231–23, pp 165–177

Ferreira, A. J. D., Coelho, C., Ritsema, C., Boulet, A., Keizer, J. (2008): Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach, *Catena*, 74, pp 273–285.

Ferreira, C.G. (1997): Erosão hídrica em solos florestais - Estudo em povoamento de *Pinus Pinaster* e *Eucalyptus Globulus* em Macieira de Alcôba - Águeda. Porto: Faculdade de Letras.

Ferreira, P., G., Azevedo, A., Rego, F. (2005): Carta da Tipologia Florestal de Portugal Continental, EFN, Lisboa Portugal, 13, pp 1–34.

Fisher, R. F., Blinkey, D., Pritchett, W. L. (2000): Ecology and management of forest soils. John Wiley and Sons, pp 241–260.

Giovannini G., Lucchesi, S. e Giachetti, M. (1988): Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146, pp 255–262.

Hartford, R. A. e Frandsen, W. H. (1992): When It's Hot, It's Hot... Or Maybe It's Not (Surface Flaming May Not Portend Extensive Soil Heating). *International Journal of Wildland Fire* 2,3, pp 139 – 144.

Keeley, J.E. e Keeley, S.C. (1981): Post-fire regeneration of Southern California chaparral. *American Journal of Botany*, 68, pp 524–530.

JRC Scientific and Technical Reports (2011): Forest Fires in Europe 2010, Report nº1

Lindenmayer, D., Burgman, M. (2005): *Practical Conservation Biology*. CSIRO Publishing, pp 293-319.

Malvar, M. – Resposta hidrológica e de erosão do solo em eucaliptais recentemente ardidos, e a sua modelação com MEFIDIS. Coimbra: 2005-2007. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra.

Martin, D., Moody, J. (2001): Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds, *Hydrological Processes*, 15, pp 2893-2903.

Meyer, G. (2002): Fire in western conifer forests: geomorphic and ecologic processes and climatic drivers, *GSA Annual Meeting, Geological Society of America*, pp 46.

Moreira, F.; Catry, F. X.; Silva, J. S. e Rego, F. (2010): *Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas*. ISAPress, pp 327.

Neary, D. G., Klopatek, C. C., Debano, L. F., Folliot, P. F. (1999): Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis *Forest Ecology and Management* 122, pp 51-71.

Nunes, J.P., Lima, J.L.M.P. de, Singh, V.P., Lima, M.I.P. de., Vieira, G.N. (2006): Numerical modeling of surface runoff and erosion due to moving rainstorms at the drainage basin scale. *Journal of Hydrology*, VOL. 330, pp 709-720.

Pietikäinen, J. e Fritze, H. (1993): Microbial biomass and activity in the humus layer following burning: short-term effect of two different fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, pp 1275-1285

Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. (1999): *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2ª edición.

Prats, S. –simulações de chuva para a medição e modelação da erosão do solo em áreas florestais recentemente ardidas. Coimbra:2007. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra.

Prats, S., MacDonald, L., Monteiro, M., Ferreira, A., Coelho, C., Keizer, J.: Effectiveness of forest residue mulching in reducing post-fire runoff and erosion in a pine and a eucalypt plantation in north-central Portugal (submetido em 2011).

Pritchett, W.L. e Fisher, R.F. (1987). Effects of fire on soils and site. En: *Properties and management of forest soils*. John Wiley (ed.), New York.

SNIRH (2011): *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. Acedido em Agosto de 2011: em [snirh.pt](http://snirh.pt).

Santos, F.D.; Miranda, P. (2006): Alterações Climáticas em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação: SIAM II. Gradiva.

Shakesby, R. A. (2011): Post-Wildfire Soil Erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews* 105, pp 71-100.

Shakesby, R., Doerr, S. (2006) Wildfire as a hydrological and geomorphological agent, *Earth-Science Reviews*, 74, pp 269 – 307.

Silva, J.S, Deus, E., Saldanha, L. (2008): Incêndios Florestais 5 anos após 2003. Liga para a Protecção da Natureza, Autoridade Florestal Nacional.

Stoof, C. R., Wesseling, J. G. e Ritsema, C. J. (2010): Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159, pp 276-285.

Thomas, D., A., Walsh, R., P., D., Shakesby, R., A. (1999): Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal, *Catena* 36, pp 283-302.

Varela, M., E., T.- Efectos de los Incendios Forestales en la Degradación Física de los Suelos de Galicia, Vigo: 2007. Tese de doutoramento apresentada ao Departamento de Biología vegetal y Ciencia del Suelo, Facultad de Biología da Universidad de Vigo.

Vásquez, R., G. – Impacto de los Incendios Forestales en la Materia Orgánica de los Suelos. La Composición de la Fracción Lipídica como índice del Grado de Recuperación de Suelos, Sevilla: 2011. Tese de doutoramento apresentada à Universidad de Sevilla.

Valette, J., C., (1990): Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Consequences sur la combustibilité des formations forestières, *Rev.For.Fr.* 42 pp 76-92.

Vieira, D. C. S., Keizer, J. J., Nunes, J. P. Fernandes, I. A. C. Faria, R. S. V, Pedrosa, E. T., Varela, M. E. T., Pereira, L. M. G. (2010): Runoff at the micro-plot and slope scale following wildfire, central Portugal. FUEGORED 2010, Santiago de Compostela, International workshop, pp 325.

WRB (2006): World reference base for soil resources 2006, World Soil Resources Reports No. 103, 2nd edition. FAO, Rome.



## **Errata:**

Na página 10, na 6ª linha do 3º parágrafo e na 5ª linha do 6º parágrafo, onde se lê (Moreira *et. al*, 2010), deve ler-se (Ferreira *et. al*, 2010).

Na página 67, no 5º parágrafo, onde se lê “Moreira, F.; Catry, F. X.; Silva, J. S. e Rego, F. (2010): Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas. ISAPress, pp327.”, deve ler-se “Ferreira, A.; Coelho, C.; Silva, J. S.; Esteves, T. (2010): Efeitos do Fogo no Solo e no Regime Hidrológico. Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas. ISAPress, pp 327. “